

## Tata cara desain tubuh bendungan tipe urugan





© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	3
4 Ketentuan umum dan persyaratan.....	6
5 Data dan informasi.....	7
6 Pertimbangan dalam desain bendungan tipe urugan .....	10
7 Penyelidikan geoteknik dan geologi teknik .....	14
8 Desain fondasi dan ebatmen .....	19
9 Desain tubuh bendungan.....	23
Lampiran A .....	30
Lampiran B .....	39
Lampiran C .....	52
Lampiran D .....	56
Bibliografi .....	64



## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Tata cara desain tubuh bendungan tipe urugan merupakan standar baru yang telah sesuai dengan Pedoman Standardisasi Nasional 08:2007.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Komite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air Teknis melalui Gugus Kerja Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan. Standar ini telah dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada 14-15 November 2001 dan dikonsensuskan ulang oleh Sub Komite Teknis Sumber Daya Air pada tanggal 4 Desember 2013 yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait dan telah melalui Jajak Pendapat pada 18 Juli 2014 sampai 16 September 2014 dan diperpanjang 16 Oktober 2014.





## Pendahuluan

Standar ini dimaksudkan sebagai petunjuk dalam pembuatan desain bendungan tipe urugan, dengan mempertimbangkan beberapa hal yang berkaitan dengan faktor keamanan dan ekonomi. Pertimbangan ini mencakup pertimbangan umum dan teknis desain bendungan, serta pemilihan tipe bendungan. Juga diperlukan data dan informasi untuk desain serta penyelidikan geoteknik baik lapangan maupun laboratorium.

Dengan adanya standar ini diharapkan agar diketahui kondisi perlapisan tanah/batu dan fondasi bendungan dan persediaan bahan urugan tanah/batu sebagai bahan konstruksi. Dari hasil penyelidikan bahan urugan, dapat diketahui jumlah bahan, dan urutan cara pengambilan, serta sifat teknis bahan yang tersedia. Selanjutnya dapat memperkirakan jumlah dan jenis bahan serta persyaratannya untuk konstruksi bendungan. Selain itu perlu dipertimbangkan persiapan dan perbaikan untuk desain fondasi, ebatmen dan tubuh bendungan.





## Tata cara desain tubuh bendungan tipe urugan

### 1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan prinsip umum cara desain bendungan tipe urugan tanah homogen, zonal, dan membran serta tanggul penutup/tanggul banjir. Hal-hal yang dibahas dalam standar ini meliputi:

- a) pertimbangan desain tubuh bendungan tipe urugan baik umum maupun teknis, kriteria desain, serta pemilihan tipe bendungan;
- b) data dan informasi untuk desain;
- c) penyelidikan geoteknik baik di lapangan maupun laboratorium;
- d) desain fondasi dan ebatmen serta tubuh bendungan, termasuk persiapan dan perbaikan serta bagian bangunan pengendali rembesan air;
- e) urugan yang meliputi bahan, jenis urugan, dan persyaratannya.

### 2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

ASTM D 2217-85, *Wet preparation of soil samples for particle size analysis and determination of soil constants*

ASTM D 2487-90, *Classification of soils for engineering purposes*

ASTM D 2488-90, *Description and identification of soils (visual-manual procedure)*

ASTM D 4253, *Maximum index density of soils using a vibratory table*

ASTM D 4254, *Minimum index density of soils and calculation of relative density*

SNI 03-1731-1989, *Tata cara keamanan bendungan*

SNI 03-1724-1989, *Tata cara perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai*

SNI 03-1742-1989, *Metode pengujian kepadatan ringan untuk tanah*

SNI 03-1965-1990, *Metode pengujian kadar air tanah.*

SNI 03-2393-1990, *Tata cara pelaksanaan injeksi semen pada batuan*

SNI 03-1964-1990, *Metode pengujian berat jenis tanah*

SNI 03-1966-1990, *Metode pengujian batas plastis*

SNI 03-1967-1990, *Metode pengujian batas cair dengan alat Casagrande*

SNI 03-2411-1991, *Metoda pengujian lapangan tentang kelulusan air bertekanan*

SNI 03-2415-1991, *Metode perhitungan debit banjir*

SNI 03-2417-1991, *Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*

SNI 03-2435-1991, *Metode pengujian laboratorium tentang kelulusan air untuk contoh tanah*



- SNI 03-2436-1991, *Metode pencatatan dan interpretasi hasil Pengeboran inti.*
- SNI 03-2437-1991, *Metode pengujian laboratorium untuk menentukan parameter sifat fisika pada contoh batu.*
- SNI 03-2455-1991, *Metode pengujian triaxial A*
- SNI 06-2487-1991, *Metode pengujian lapangan kekuatan geser baling*
- SNI 03-2812-1992, *Metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi*
- SNI 03-2813-1992, *Metode pengujian geser langsung tanah terkonsolidasi dengan drainase*
- SNI 03-2849-1992, *Tata cara pemetaan geologi teknik lapangan*
- SNI 03-2827-1992, *Metode pengujian lapangan dengan sondir*
- SNI 03-2825-1992, *Metode pengujian kuat tekan uniaxial batu.*
- SNI 03-3405-1994, *Metode pengujian sifat dispersif tanah dengan alat pinhole*
- SNI 03-3406-1994, *Metode pengujian sifat tahan lekang batu*
- SNI 03-3407-1994, *Metode pengujian sifat kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat dan Magnesium Sulfat*
- SNI 03-3420-1994, *Metode pengujian geser langsung tanah tidak terkonsolidasi tanpa drainase*
- SNI 03-3422-1994, *Metode pengujian batas susut tanah*
- SNI 03-3423-1994, *Metode pengujian analisis ukuran butir dengan alat hidrometer.*
- SNI 03-3432-1994, *Tata cara penetapan banjir desain dan kapasitas pelimpah untuk bendungan*
- SNI 03-3637-1994, *Metode pengujian berat isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji*
- SNI 03-3638-1994, *Metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif*
- SNI 03-3968-1995, *Metoda pengukuran kelulusan air pada tanah zone tak jenuh dengan lubang bor*
- SNI 03-4153-1996, *Metode pengujian penetrasi SPT*
- SNI 03-4813-1998, *Metode pengujian triaxial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drainase*
- SNI 03-6465.1-2000, *Metode pengontrolan sungai selama pelaksanaan konstruksi bendungan. Bagian 1, Pengendalian sungai selama pelaksanaan konstruksi bendungan.*
- SNI 03-6465.2-2000, *Metode pengontrolan sungai selama pelaksanaan konstruksi bendungan. Bagian 2, Penutupan alur sungai dan pembuatan bendungan pengelak.*
- SNI 03-6465-2000, *Tata cara pengendalian mutu bendungan urugan*
- SNI 03-6796-2002, *Metode pengujian untuk menentukan daya dukung tanah dengan beban statis pada fondasi dangkal*



### 3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam standar ini, sebagai berikut:

#### 3.1

##### **ambang**

elevasi mercu pelimpah

#### 3.2

##### **bendungan**

bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk

#### 3.3

##### **bendungan tipe urugan**

bendungan yang terbuat dari bahan urugan dari *borrow area* yang dipadatkan dengan menggunakan *vibrator roller* atau alat pemadat lainnya pada setiap hamparan dengan tebal tertentu

#### 3.4

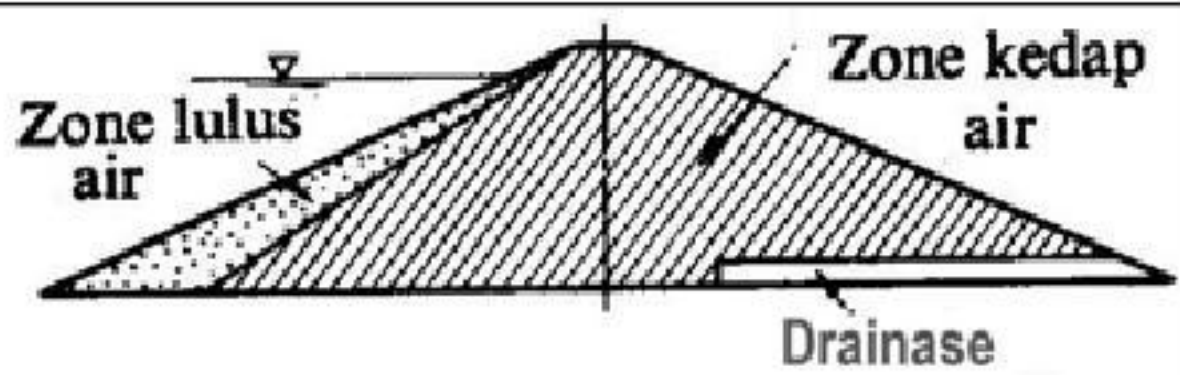
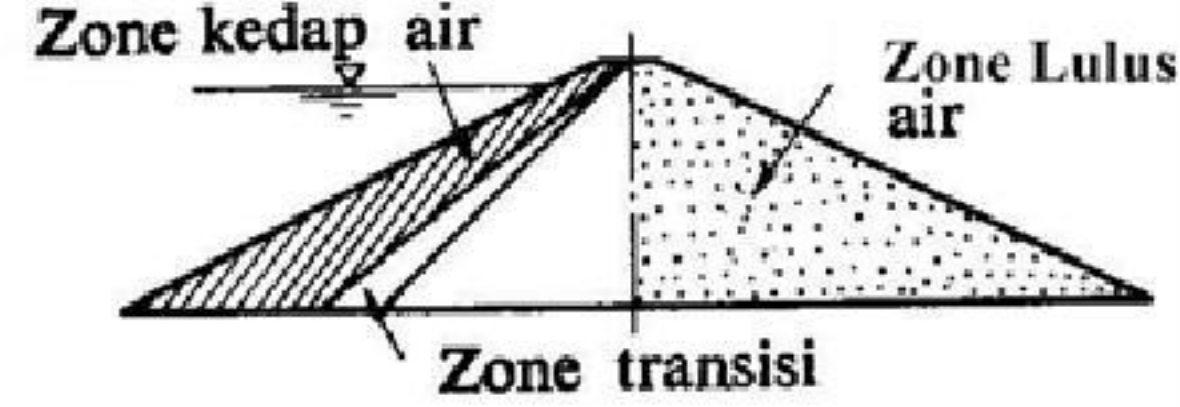
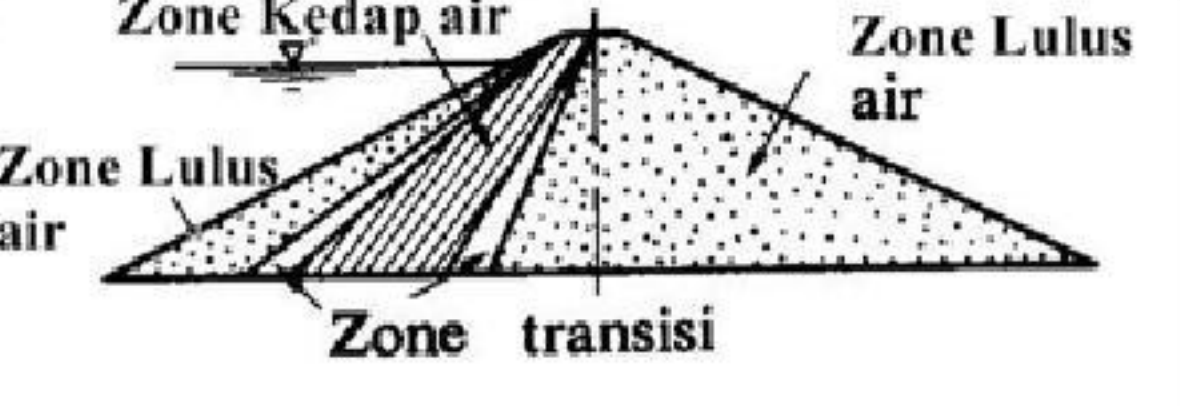
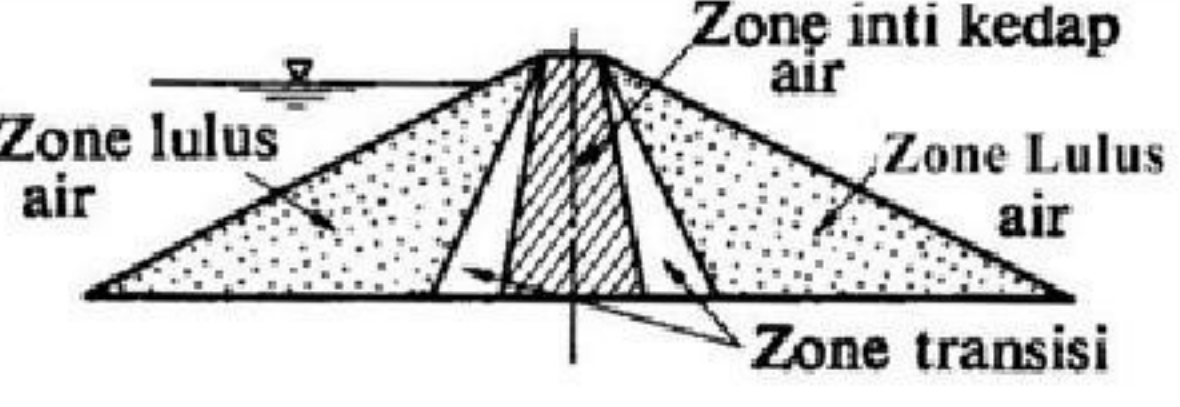
##### **bendungan tipe urugan batu dengan membran**

bendungan urugan batu digolongkan dalam tipe membran apabila lereng udik tubuh bendungan dilapisi membran yang sangat kedap air, seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, geosintetik, dan susunan beton blok

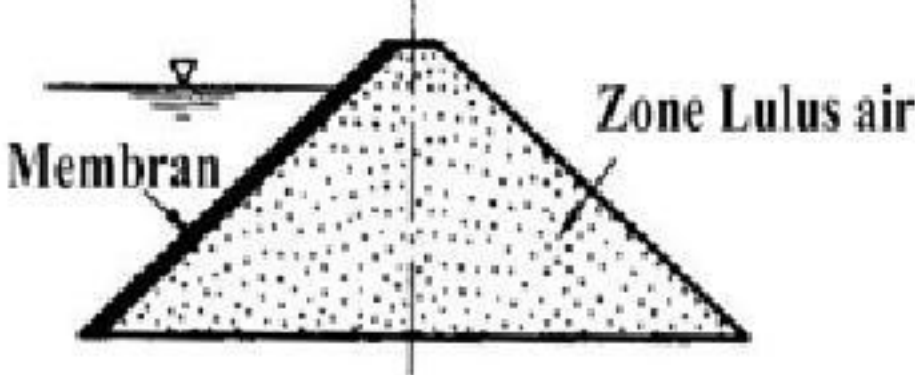
#### 3.5

##### **bendungan tipe urugan tanah homogen**

suatu bendungan urugan digolongkan dalam tipe homogen, apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri atas tanah yang hampir sejenis dengan klasifikasi hampir homogen (dari *borow area*) dan dipadatkan secara mekanik dengan menggunakan *vibrator roller* atau alat lainnya pada setiap hamparan dengan tebal tertentu

Tipe		Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan homogen			Apabila 80% dari seluruh pembentuk tubuh bendungan terdiri atas bahan yang bergradasi sama dan bersifat kedap air.
Bendungan urugan Zonal	Tirai		Apabila pembentuk tubuh bendungan terdiri atas bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Inti miring		Apabila pembentuk tubuh bendungan terdiri atas bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
	Inti vertikal		Apabila pembentuk tubuh bendungan terdiri atas bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.



Tipe	Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan batu dengan membran		Apabila pembentuk tubuh bendungan terdiri atas bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan membran kedap air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dan lain-lainnya.

Gambar 1 - Tipe bendungan urugan

### 3.6

#### bendungan tipe urugan zonal

bendungan urugan digolongkan dalam tipe zonal, apabila bahan urug yang membentuk tubuh bendungan terdiri atas batuan atau tanah yang bergradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan perlapisan tertentu (beberapa zona); pada bendungan tipe ini sebagai penyangga terutama dibebankan pada urugan lulus air (zona lulus air), sedangkan penahan rembesan dibebankan kepada urugan kedap air (zona kedap air). Berdasarkan letak dan kedudukan zona kedap airnya, bendungan tipe ini dibedakan menjadi tiga yaitu:

- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air (*front core fill type dam*) adalah bendungan zonal dengan zona kedap air yang membentuk lereng udik bendungan.
- Bendungan urugan zonal dengan inti miring atau "bendungan inti miring" (*inclined - core fill type dam*) adalah bendungan zonal yang inti kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dan berkedudukan miring ke arah udik.
- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak atau "bendungan inti tegak" (*central - core fill type dam*) adalah bendungan zonal yang zona kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dengan kedudukan vertikal. Biasanya inti tersebut terletak di tengah tubuh bendungan.

### 3.7

#### daerah fondasi

dasar lembah tempat tubuh bendungan dan bangunan utama lainnya ditempatkan

### 3.8

#### dinding halang (*cut off wall*)

dinding atau penyekat air yang berfungsi mengendalikan rembesan air melewati fondasi

### 3.9

#### ebatmen

bagian dari tumpuan kedua ujung bendungan

### 3.10

#### likuifaksi (*liquefaction*)

proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal

### 3.11

#### mercu pelimpah

elevasi ambang atas pelimpah



**3.12**

**muka air waduk maksimum**

elevasi muka air waduk yang diizinkan dan ditentukan terhadap jagaan minimal yang telah disepakati

**3.13**

**muka air waduk normal**

elevasi muka air maksimum dalam waduk pada kondisi eksploitasi normal

**3.14**

**pelimpah**

bagian komponen bendungan untuk melimpahkan air kelebihan dari debit banjir desain

**3.15**

**pemindahan aliran (*stream diversion*)**

kegiatan pengalihan aliran untuk mengendalikan aliran pada waktu pelaksanaan melalui saluran pengarah atau pengelak

**3.16**

**serpih (*shales*)**

batuan endapan yang tersusun dari butiran sangat halus, kurang dari 1/254 mm

**3.17**

**sumur pelepas tekanan (*pressure relief well*)**

sumur yang terbuat dari material filter yang dipasang di hilir bendungan dan menembus lapisan rembes air untuk mengurangi tekanan angkat secara lebih efektif

**3.18**

**tinggi jagaan**

jarak vertikal dari puncak bendungan sampai elevasi muka air maksimum waduk, yang dihasilkan dari perhitungan banjir desain pada pelimpah

**3.19**

**tubuh bendungan**

bagian bendungan yang menahan, menampung dan meninggikan air yang berdiri di atas fondasi bendungan, selanjutnya dalam buku ini disebut bendungan. Bendungan dibagi atas:

- a) bendungan tinggi, bila tinggi  $H > 60\text{m}$  dan
- b) bendungan dengan risiko besar:
  - 1)  $H > 15\text{ m}$  dan volume  $> 100.000\text{ m}^3$
  - 2)  $H < 15\text{ m}$ , bila
    - (a) volume tampungan waduk  $> 500.000\text{ m}^3$ , atau
    - (b) debit desain  $Q_d > 2000\text{ m}^3/\text{s}$ , atau
    - (c) fondasi tanah lunak

**3.20**

**waduk**

wadah yang dapat menampung air baik secara alamiah maupun buatan karena dibangunnya bendungan



## 4 Ketentuan umum dan persyaratan

### 4.1 Persyaratan keamanan

Desain bendungan tipe urugan harus mempertimbangkan persyaratan berikut ini:

- aman terhadap bahaya erosi permukaan pada waktu terjadi banjir, akibat pelimpahan, air hujan atau gelombang air waduk, dan muka air maksimum;
- aman terhadap tekanan air tanpa menimbulkan rembesan atau kerusakan akibat gaya perembesan air;
- aman terhadap keruntuhan struktural;
- aman terhadap bangunan dan lingkungan di sekitarnya, serta dapat menjaga ekologi dan lingkungan.

### 4.2 Persyaratan desain

Faktor-faktor yang perlu diperhitungkan dalam desain bendungan adalah:

- topografi;
- bahan konstruksi;
- fondasi;
- bangunan pelengkap;
- luas/volume tampungan waduk;
- gejala lain yang dapat menimbulkan masalah.

### 4.3 Ketentuan umum

Ketentuan umum yang diperlukan untuk desain adalah seperti berikut ini:

- kondisi lokasi rencana bendungan
  - pengaruh lebar lembah terhadap cara pemindahan aliran air sungai dan pemilihan tipe bendungan;
  - pengaruh bentuk bukit dan topografi terhadap tinggi gelombang air dan pemilihan tipe pelindung lereng;
  - aktivitas gempa di sekitar bendungan;
- kondisi hidrologi yang berpengaruh terhadap persediaan air waduk;
- kondisi operasional, yang berpengaruh terhadap kebutuhan pengaturan masukan dan keluaran persediaan air;
- kondisi cuaca;
- konstruksi yang berpengaruh pada cara konstruksi dan lingkungan;
- ekologi dan lingkungan yang diakibatkan oleh pembangunan bendungan.

### 4.4 Pertimbangan pemilihan bendungan tipe urugan

#### 4.4.1 Pertimbangan umum

Pertimbangan umum yang harus dipenuhi dalam desain bendungan tipe urugan adalah sebagai berikut.

- Urugan, fondasi dan ebatmen harus stabil terhadap longsor, rembesan dan deformasi baik pada waktu konstruksi maupun pada waktu operasi waduk.
- Rembesan air melalui urugan, fondasi dan ebatmen harus dapat dikendalikan dengan baik dan kecepatannya dibatasi. Tujuannya adalah untuk mencegah tekanan angkat (*uplift*) yang berlebihan, bahaya erosi buluh, pelarutan bahan dan erosi melewati rekahan atau rongga.



- c) Tinggi jagaan harus cukup besar untuk mencegah pelimpahan air melewati tubuh bendungan (*overtopping*). Dalam perhitungan tinggi jagaan harus dipertimbangkan terhadap gelombang air waduk dan penurunan tubuh dan fondasi bendungan.
- d) Pelimpah dan bangunan pengeluaran harus berkapasitas cukup untuk mencegah bahaya pelimpahan air melewati tubuh bendungan (lihat SNI-03-3432-1994).

#### 4.4.2 Konstruksi pengendali

Desain bendungan tipe urugan harus memperhitungkan konstruksi pengendali rembesan air. Sebagai contoh dinding halang (*cutoff*) pada fondasi, zona kedap air yang tidak kaku, zona transisi, lapisan drainase horizontal, selimut kedap air horizontal di sebelah udik dan sumur pelepas tekanan (*relief wells*). Selain itu, juga diperlukan pengendalian yang ketat terhadap pemadatan tanah, kadar air tanah, homogenitas bahan urugan, dan pemasangan instalasi drainase.

#### 4.4.3 Hal-hal khusus

Hal-hal khusus yang harus dipertimbangkan antara lain kemungkinan peningkatan tekanan air pori pada material fondasi yang berlapis-lapis, dan bagian bendungan yang paling lemah di kaki lereng hilir. Dalam hal ini tegangan yang bekerja pada fondasi relatif sangat kecil sehingga tegangan efektifnya juga sangat kecil karena adanya rembesan air. Oleh karena itu, kuat geser tanah pada kaki hilir bendungan akan menurun akibat peningkatan tekanan air pori.

#### 4.4.4 Pertimbangan teknis

- a) Kondisi lapangan yang dapat mendukung pemilihan bendungan tipe urugan adalah:
  - 1) lembah yang lebar;
  - 2) tidak ditemukan ebatmen dari batuan yang cukup baik;
  - 3) lapisan tanah yang cukup tebal;
  - 4) kualitas batuan fondasi yang kurang baik ditinjau dari segi struktur;
  - 5) ditemukan bahan urugan tanah atau batuan dalam jumlah yang cukup banyak dan kualitasnya cukup baik.
- b) Urugan batu dengan lereng tegak membutuhkan fondasi yang lebih kuat dibandingkan dengan urugan tanah homogen. Bahkan bendungan beton membutuhkan fondasi yang lebih baik dari bendungan tipe urugan batu.

#### 4.4.5 Pengaruh lingkungan

Pelaksanaan konstruksi bendungan harus memperhatikan faktor-faktor keamanan lingkungan hidup seperti berikut ini, agar kerusakan yang akan terjadi dapat seminimal mungkin.

- a) Air buangan yang berasal dari galian yang mengandung banyak sedimen harus dialirkan ke kolam pengendapan sebelum dibuang ke dalam sungai.
- b) Penggalan *borrow area* harus dikerjakan sesuai aturan yang berlaku agar erosi dan angkutan sedimen yang akan terjadi seminimal mungkin.
- c) Penataan kembali harus dilakukan secara matang pada galian *borrow area*, galian bangunan pelengkap dan tempat pembuangan hasil galian (lihat SNI 03-1731-1989).
- d) Gangguan manusia terhadap lingkungan (keamanan terhadap lingkungan).

### 5 Data dan informasi

Pengumpulan data dan informasi baik yang sudah tersedia maupun yang perlu dilakukan survei dan investigasi di daerah calon bendungan, sangat diperlukan untuk desain dan



konstruksi suatu bendungan. Pada prinsipnya data terbagi atas dua bagian, yaitu: (i) pengumpulan data dasar dan (ii) pengujian (kalibrasi) data terkumpul. Data dasar biasanya meliputi (a) peta topografi, (b) peta geologi, (c) foto udara, dan (d) lain-lain, seperti peta tata guna lahan, kegiatan konstruksi di masa lampau.

Kalibrasi data terkumpul kadang-kadang diperlukan untuk membandingkan dan memeriksa kebenaran data atau mencari persamaan yang logis dari data terkumpul.

### 5.1 Faktor-faktor yang perlu dalam desain

Faktor-faktor yang mempengaruhi desain suatu bendungan yang perlu dipertimbangkan adalah kondisi daerah bendungan; hidrologi, persyaratan operasional, kondisi pelapukan, konstruksi, ekologi dan lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan survei dan investigasi agar diperoleh desain calon bendungan yang baik.

### 5.2 Kondisi daerah calon bendungan

Kegiatan survei dan investigasi yang diperlukan pada umumnya meliputi:

- a) pemetaan topografi dan geologi permukaan untuk memperoleh gambaran yang saksama tentang jenis, perkiraan daerah penyebaran, tebal, sifat fisik dan teknik batuan, dan lain-lain;
- b) penyelidikan bahan bangunan untuk memperoleh gambaran jenis batuan dan sedimennya di sekitar daerah calon bendungan dan perkiraan kapasitas dari setiap jenis bahan tersebut.

### 5.3 Pengukuran dan pemetaan topografi

#### 5.3.1 Kolam waduk

Pemetaan dan pengukuran kolam waduk diperlukan untuk memperkirakan volume waduk, kedudukan bendungan dan bangunan pelengkap, serta luas daerah yang akan dibebaskan termasuk bangunan dan areal tanaman. Luas daerah genangan waduk dan skala peta yang lazim digunakan seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1 – Luas daerah genangan waduk dan skala peta yang lazim digunakan**

Luas daerah genangan waduk	Skala peta
Lebih besar dari 100 ha	1 / 2.000 – 1 / 5.000
Antara 50 – 100 ha	1 / 1.000 – 1 / 2.000
Lebih kecil dari 50 ha	1 / 500 – 1 / 1.000

#### 5.3.2 Bendungan dan bangunan pelengkap

Pemetaan tempat kedudukan calon bendungan diperlukan untuk memperoleh gambar situasi, penampang melintang dan penampang memanjang untuk mendukung desain bendungan dan bangunan pelengkap. Peta-peta ini biasanya dibuat dalam skala 1/500 atau 1/1000 dengan interval tinggi 1 meter.

### 5.4 Survei meteorologi dan hidrologi

Hidrologi merupakan faktor untuk memperkirakan persediaan air atau kapasitas waduk, perhitungan desain ekonomik, tinggi optimum bendungan untuk konservasi, kapasitas pelimpah dan besarnya limpahan air.



- a) data debit banjir yang pernah terjadi, kadang-kadang dapat diperkirakan dengan membandingkan kondisi geologi dan topografi dengan kondisi meteorologi yang terbatas, daerah pengaliran sungai yang tidak mempunyai stasiun pencatat, dan kalibrasi data.
- b) data curah hujan diperlukan untuk analisis kapasitas/persediaan air dan analisis karakteristik debit banjir di daerah calon bendungan.
- c) data debit banjir rencana, diperoleh dari hasil perhitungan curah hujan maksimum rata-rata dan jangka waktu sampai terjadi debit besar; sedangkan debit rencana diperoleh dari hasil perhitungan curah hujan rencana dengan faktor-faktor kondisi daerah pengaliran. (SNI 03-2415-1991).
- d) kapasitas pengendalian banjir desain pelimpah harus memperhitungkan kapasitas limpah dan besarnya limpahan air. (SNI 03-3432-1994).

### 5.5 Survei geologi dan pengujian lapangan

Kondisi topografi dan geologi merupakan faktor penting dalam desain dan konstruksi bendungan dan untuk menentukan kondisi fondasi dan bahan tubuh bendungan. Kegiatan ini meliputi:

- a) pemetaan tampak geologi untuk memperoleh penampang geologi
- b) pengeboran inti untuk mengetahui karakteristik material tanah (batuan di bawah permukaan tanah);
- c) terowong uji;
- d) parit uji;
- e) pendugaan.

Pengujian lapangan dilakukan antara lain untuk memperoleh data daya dukung tanah, permeabilitas tanah, kuat geser tanah, dan sifat teknis lainnya. Kemudian hasil pengujian akan menjadi masukan untuk analisis dan perhitungan seperti stabilitas, penurunan atau deformasi, daya dukung dan rembesan.

### 5.6 Survei bahan bangunan

Survei untuk desain dan pemilihan bahan bendungan memerlukan pertimbangan:

- a) persyaratan stabilitas, kepadatan dan kuat geser tanah;
- b) persyaratan rembesan, gradasi butiran dan permeabilitas tanah;
- c) persyaratan penurunan atau deformasi (uji konsolidasi);
- d) pengujian lapangan dan laboratorium terhadap contoh uji, untuk memperoleh contoh bahan, untuk memperoleh sifat fisik dan teknis tanah/batuan serta klasifikasi bahan.

### 5.7 Persyaratan operasional

Rencana pengelolaan air sungai diperlukan untuk menentukan lokasi dan tinggi bendungan. Persyaratan operasional pada saat elevasi waduk minimum, maksimum dan waktu pengisian atau surut cepat air waduk, serta pengontrolan rembesan perlu dipertimbangkan dalam desain. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya banjir dan untuk mempertahankan kapasitas waduk.

### 5.8 Kondisi cuaca

Kondisi cuaca perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bendungan, sehubungan dengan konstruksi dan jadwal pelaksanaannya, dan pengambilan bahan dan penempatan jenis bahan waktu konstruksi



## 5.9 Konstruksi

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam desain bendungan, antara lain metode, alat dan periode konstruksi disesuaikan dengan musim kemarau dan musim hujan, serta ketersediaan bahan bendungan.

## 5.10 Ekologi dan lingkungan

Pertimbangan ekologi dan lingkungan merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan dalam kegiatan survei. Dampak bendungan akan mempengaruhi kehidupan baik manusia, bangunan yang sudah ada maupun tanaman dan hewan di daerah sekitarnya; yang perlu dijaga keseimbangan ekologinya.

## 6 Pertimbangan dalam desain bendungan tipe urugan

### 6.1 Tinggi jagaan

- Tinggi jagaan adalah jarak vertikal dari puncak bendungan sampai elevasi muka air maksimum waduk yang diperoleh dari hasil perhitungan banjir desain pelimpah. Tinggi jagaan harus didesain aman terhadap kemungkinan pelimpahan air melewati tubuh bendungan. Perhitungan itu harus mempertimbangkan pengaruh tinggi gelombang akibat angin, gempa bumi, penurunan fondasi, dan tubuh bendungan.
- Untuk daerah bergempa kuat yaitu zona gempa D, E dan F (lihat Pd T-14-2004-A pada Bibliografi), tinggi jagaan ditetapkan dengan harga minimum seperti ditentukan pada Tabel 2.

**Tabel 2 – Tinggi jagaan dan lebar bendungan untuk daerah bergempa berat**

Tinggi bendungan (m)	Jarak minimum antara elev. air normal dan puncak bendungan (m)	Lebar puncak Bendungan (m)
<30	3.5	7.5
30- 60	4.5	9.0
61-90	6.0	10.5
>91	6.0	12.0

### 6.2 Lebar puncak

Lebar puncak bendungan tipe urugan tanah dan batu sebenarnya tidak begitu berpengaruh terhadap kestabilan lereng akibat beban statik, tetapi cukup berpengaruh akibat beban gempa. Untuk lebar minimum di daerah bergempa kuat dapat digunakan Tabel 2.

### 6.3 Sumbu bendungan

Sumbu bendungan dapat ditarik sebagai garis lurus atau garis lengkung ke arah udik (cembung) dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan ekonomis bendungan. Selain itu juga untuk mencegah kemungkinan terjadinya zona tegangan tarik pada lereng udik bendungan yang dapat mengakibatkan timbulnya retakan dan konsentrasi bocoran ke arah lereng hilir. Pada bendungan tinggi, biasanya sumbu dibuat cembung agar tekanan air waduk terbagi dalam arah memanjang bendungan. Bentuk ini akan meningkatkan tegangan tekan dalam inti bendungan sehingga dapat mencegah bahaya retakan dalam arah melintang. Radius lengkungan biasanya diambil antara 300 m sampai 900 m.



#### 6.4 Ebatmen

- a) Potongan melintang bendungan yang terletak pada ebatmen dapat dibuat lebih landai daripada potongan lainnya. Hal ini biasanya dilaksanakan bila kondisi batuan atau tanah pada ebatmen agak lemah (talud deposit atau batuan lapuk). Dengan membuat inti bendungan lebih lebar, garis rembesan air akan lebih panjang sehingga rembesan air mengecil. Selain itu, juga dapat digunakan injeksi tirai untuk mengurangi rembesan air melewati ebatmen. Dari segi ekonomis, pelandaian lereng untuk stabilitas bendungan lebih menguntungkan daripada penggalian lapisan tanah atau batuan yang lemah. Permeabilitas arah horizontal dari batuan dasar atau lapisan tanah pada ebatmen biasanya jauh lebih tinggi dari pada permeabilitas urugan tanah bendungan. Oleh karena itu, pelandaian lereng ke arah udik lebih menguntungkan ditinjau dari segi pengendalian rembesan air.
- b) Pada lereng ebatmen yang sangat tegak urugan kedap air, filter dan zona transisi dianjurkan dipertebal di lokasi yang kemungkinan terjadi tegangan tarik akibat penurunan yang tidak merata. Pelebaran inti tidak selalu efektif pada tanah yang tidak dapat menutup sendiri bila terjadi retakan dalam urugan. Namun, pelebaran pada material filter dan zona transisi tanah nonkohesif akan lebih menguntungkan, karena bersifat dapat menutup sendiri bila terjadi retakan yang berlebihan. Bila memungkinkan, pelaksanaan konstruksi lapisan urugan teratas yang berdekatan dengan ebatmen berlereng tegak diperlambat sampai terjadi penurunan yang cukup besar.
- c) Penurunan yang tidak merata searah sumbu bendungan (memanjang) pada bagian yang berdekatan dengan ebatmen dapat menimbulkan retakan melintang yang berbahaya. Untuk mencegah hal tersebut, dapat digunakan tanah urugan yang dipadatkan pada kadar air lebih tinggi dan dikombinasi dengan lereng yang diperlandai serta lapisan filter dipertebal.

#### 6.5 Konstruksi secara bertahap

- a) Konstruksi secara bertahap adalah konstruksi pengurugan yang dilakukan dalam jangka waktu tertentu dengan interval antara pengurugan dan waktu tidak ada kegiatan. Pelaksanaan konstruksi ini biasanya dilakukan bila bendungan dibangun di atas fondasi tanah lunak atau pemadatan tanah urugan dilakukan pada kadar air yang tinggi. Tujuannya adalah untuk memberi kesempatan menurunnya tekanan air pori dalam tanah.
- b) Bila bendungan yang tinggi dibangun di suatu lembah sempit, ada kemungkinan pengurugan dilakukan terlalu cepat sehingga tekanan air pori juga meningkat secara cepat di dalam tubuh dan fondasi bendungan. Dua cara konstruksi yang dapat ditempuh agar bendungan tetap stabil yaitu konstruksi secara bertahap dan pelandaian lereng bendungan.

#### 6.6 Pemindahan aliran (*stream diversion*) pada waktu pelaksanaan

Cara memindahkan dan mengalihkan aliran pada waktu pelaksanaan merupakan faktor penting dalam menentukan lokasi bendungan. Oleh karena itu, harus dipertimbangkan secara saksama dalam desain termasuk jadwal pelaksanaan konstruksi agar tidak terjadi gerusan dan *seepage*.

- a) Faktor-faktor utama yang mempengaruhi cara pengalihan air sungai adalah kondisi fluktuasi hidrologi, topografi, geologi, perubahan aspek-aspek morfologi dinamik sungai, pergerakan sedimen, air sungai, keadaan bangunan air di udik dan di hilir, geometri, geoteknik, debit, muka air tertinggi, hidraulik sungai, air tanah, dan jadwal pelaksanaan konstruksi. Cara pengalihan aliran sungai yang umum dilaksanakan adalah sebagai berikut; pada tahap pertama menyelesaikan bangunan pengalih (*outlet*



*structure*) dan sebagian urugan yang dipadatkan. Kemudian dilanjutkan pada musim kering ketika banjir jarang terjadi dengan membangun *cofferdam* untuk memindahkan aliran sungai masuk ke bangunan pengalih. *Cofferdam* biasanya dibangun baik di sebelah udik maupun di sebelah hilir. Pada tahap selanjutnya membangun dengan cepat bagian bendungan yang berfungsi sebagai penutup di tengah sungai sampai mencapai elevasi tertentu. Pada tahap terakhir membangun bendungan sampai mencapai puncak.

- b) *Cofferdam* biasanya dibangun dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:
  - 1) Pertama *cofferdam* kecil dibangun di sebelah udik bendungan yang terpisah dari bendungan utama.
  - 2) *Cofferdam* utama dapat dibangun sebagai bagian dari bendungan atau terpisah dengan kualitas harus sama dengan bendungan utama.
  - 3) Pembuatan *cofferdam* harus selesai dalam satu musim kemarau.
- c) *Cofferdam* yang dibangun untuk bendungan tipe urugan harus didesain, dilaksanakan, diawasi dan mempunyai kualitas sama dengan bendungan utama. Penentuan tinggi *cofferdam* harus mempertimbangkan pengaruh hidrologi dan topografi. *Cofferdam* juga harus dilengkapi dengan pelindung terhadap bahaya erosi dan konstruksi pengendali rembesan air. Desain *cofferdam* juga harus mempertimbangkan pengaruh kondisi lapisan tanah dan batuan fondasi, stabilitas dan penurunan fondasi, kecepatan pengurugan untuk mencegah pelimpahan air, dan tempat pengambilan bahan urugan.
- d) Aliran air dapat dialihkan atau dipindahkan dengan *cofferdam* dan terowongan. Dimensi ukuran tergantung dari hidrologi sungai dengan mempertimbangkan ukuran terowongan pengelak dan debit banjir.

#### 6.7 Bagian urugan sebagai penutup sungai

Bagian urugan yang berfungsi sebagai penutup sungai (*cofferdam*), biasanya pendek dan dibangun secara cepat. Dua masalah yang timbul pada waktu pelaksanaan adalah:

- a) Agar tidak terjadi penurunan kekuatan geser akibat peningkatan tekanan air pori di dalam tanah fondasi dan urugan; maka dapat diatasi dengan membuat lapisan drainase horizontal pada bagian luar inti bendungan atau drainase vertikal pada fondasi bendungan.
- b) Retakan melintang yang terjadi di sambungan antara bagian urugan lama dan baru, biasanya disebabkan oleh adanya penurunan tidak merata. Untuk mencegah hal ini dianjurkan agar pada ujung bagian urugan lama yang dibuat dengan lereng tidak lebih tegak dari 1 : 4, atau inti bendungan dibuat dari bahan dengan kadar air lebih tinggi.

#### 6.8 Fasilitas pelindung terhadap pengaruh gaya gempa bumi

Di daerah bergempa kuat desain urugan bendungan besar harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- a) Fondasi dari tanah nonkohesif harus mempunyai kepadatan relatif (*relative density*) minimum 70%.
- b) Zona kedap air harus lebih plastis.
- c) Zona kedap air harus lebih lebar.
- d) Puncak bendungan harus lebih diperlebar.
- e) Lereng bendungan harus diperlandai.
- f) Tinggi jagaan harus cukup untuk mencegah pelimpahan.
- g) Lebar filter dan zona transisi harus diperlebar.
- h) Zona urugan batu harus dipadatkan agar mempunyai kepadatan lebih tinggi.
- i) Bagian urugan yang terletak di atas ebatmen harus diperlandai.
- j) Bendungan yang terletak diatas sesar memerlukan penyelidikan geologi dan seismologi secara lebih terperinci.
- k) Bangunan pelimpah tidak dianjurkan dibangun di atas tubuh bendungan.
- l) Bangunan pengeluaran tidak dianjurkan dibangun di bawah tubuh bendungan.



## 6.9 Retakan pada urugan

Salah satu pertimbangan penting untuk desain bendungan tipe urugan yang aman adalah mencegah retakan bendungan. Pada urugan tanah yang dipadatkan secara baikpun, retakan dapat terjadi karena pemadatan yang dikontrol dengan baik tidak cukup untuk mencegah retakan. Tipe retakan dibagi dalam tiga jenis yaitu, seperti berikut:

- a) retakan melintang vertikal dengan arah melintang bendungan;
- b) retakan memanjang vertikal sejajar sumbu bendungan, biasanya terjadi pada zona material yang berbeda;
- c) retakan horizontal pada inti atau pada fondasi bendungan.

### 6.9.1 Retakan melintang

- a) Retakan melintang pada inti atau zona kedap air atau zona urugan batu di sebelah luar merupakan jenis kerusakan sangat kritis yang harus diperhitungkan dalam desain. Retakan ini biasanya terjadi karena timbulnya tegangan tarik akibat penurunan tidak merata pada fondasi atau tubuh bendungan. Bila penurunan tidak merata terjadi dalam jarak horizontal yang pendek, tegangan tarik akan meningkat secara cepat sampai terjadi retakan. Penurunan yang menimbulkan tegangan tarik di bagian bawah bendungan tidak berpengaruh terlalu besar karena adanya tegangan tekan yang cukup tinggi di atasnya. Namun, regangan tarik yang terjadi pada bagian atas bendungan berpengaruh cukup besar karena tegangan yang bekerja di atasnya relatif kecil akibat berat sendiri bendungan. Jadi, zona tarik di bagian atas bendungan dianggap paling penting dalam pertimbangan desain.
- b) Zona tarik yang terjadi di bagian atas urugan biasanya disebabkan oleh adanya penurunan tidak merata yang berlebihan, yang terjadi pada:
  - 1) fondasi dan ebatmen tegak;
  - 2) zona antara bagian urugan lama dan baru (yang menutup sungai dan telah dibangun sebelumnya);
  - 3) dasar sungai lama terdiri atas lapisan tanah lunak;
  - 4) galian sekitar dindinghalang rembesan yang melewati tanah yang mempunyai kompressibilitas agak tinggi;
  - 5) inti yang dipadatkan pada kadar air terlalu kering ( $< \text{OMC}-1\%$ ) sehingga pada waktu terjadi penjenruhan oleh air waduk urugan mengalami penurunan;
  - 6) penyebab lain yang menimbulkan penurunan tidak merata.

### 6.9.2 Retakan memanjang

Dalam pasal sebelumnya telah diuraikan bahwa retakan memanjang disebabkan oleh penurunan tidak merata, tetapi penyebab yang paling sering terjadi adalah:

- a) penurunan urugan batu karena penjenruhan waktu pengisian pertama waduk;
- b) penurunan zona batu sebelah udik karena penurunan air waduk secara tiba-tiba (*rapid drawdown*); dan
- c) penurunan inti bendungan.

### 6.9.3 Retakan horizontal

Retakan horizontal pada inti terjadi karena adanya penurunan tidak merata antara inti dan zona batu sebelah luar. Dalam hal ini, sebagian inti akan menggantung (*hang up*).

### 6.9.4 Mencegah retakan

Peningkatan tegangan tarik pada bendungan dipengaruhi oleh dua hal, yaitu geometri fondasi atau ebatmen dan perbedaan sifat tegangan dan regangan dari bahan timbunan



yang digunakan. Hal ini dapat dianalisis dengan menggunakan cara elemen hingga (*finite element*). Untuk mencegah terjadinya retakan pada urugan, dapat ditempuh langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Pada waktu pemadatan, urugan harus selalu disiram air.
- b) Pemadatan urugan batu harus dilakukan mencapai kepadatan relatif yang cukup tinggi (>70%) agar dapat mengurangi pengaruh penjenahan.
- c) Pemadatan material inti harus dilaksanakan pada kadar air yang tidak terlalu kering (>OMC-1%) dan berat volume tertentu, agar tidak terjadi proses konsolidasi waktu penjenahan yang dapat menyebabkan retakan.
- d) Pengendalian rembesan air akibat retakan dapat dikontrol dengan menempatkan system drainase transisi atau filter yang tebal.

## 7 Penyelidikan geoteknik dan geologi teknik

### 7.1 Penyelidikan lapangan

#### 7.1.1 Tinjauan umum

- a) Penyelidikan geoteknik pada bendungan, bangunan lain, dan *borrow area* harus cukup lengkap untuk mengevaluasi hal-hal sebagai berikut:
  - 1) kondisi fondasi dan ebatmen;
  - 2) cara perbaikan fondasi yang dibutuhkan;
  - 3) penggalian lereng;
  - 4) persediaan dan karakteristik bahan urugan;
  - 5) kemungkinan *dewatering* yang diperlukan.
 Data yang diperoleh sangat berguna untuk menentukan tata letak yang lebih tepat dan tipe bendungan. Pengumpulan data ini mencakup klasifikasi, sifat fisik, perlapisan tanah dan batuan, dan variasi muka air tanah.
- b) Pengetahuan mengenai geologi regional dan lokal dapat menghasilkan peta dan potongan geologi. Peta yang menunjukkan litologi, struktur geologi, kelulusan air, topografi, dan geometri sangat dibutuhkan untuk menyusun program penyelidikan geoteknik, interpretasi kondisi antara dua lubang bor dan evaluasi geoteknik (lihat SNI-03-2436-1991 dan SNI-03-2849-1992);
- c) Jumlah titik eksplorasi ditentukan oleh kompleksnya keadaan fondasi dan besarnya proyek yang akan dibangun. Penyelidikan awal bahan urugan biasanya sudah dilakukan, sehingga jumlah dan sifat teknis bahan urugan sudah diketahui sebelum melakukan studi pemilihan tipe bendungan.
- d) Struktur geologi dapat menggambarkan jurus (*strike*) dan kemiringan (*dip*) bidang perlapisan, rongga dalam batu kapur, rekahan, kekar, lensa-lensa lempung, zona patahan (*gauge zone*) dan sesar. Struktur ini sangat mempengaruhi stabilitas fondasi dan lereng galian, terutama yang berhubungan dengan rembesan air.
- e) Perlapisan tanah yang berpotensi mengalami proses likuifaksi (*liquifaction*) waktu terjadi gempa bumi harus diselidiki dengan uji penetrasi standar (SPT).
- f) Penyelidikan tanah dan batuan fondasi secara lebih terperinci dibutuhkan bila ditemukan hal-hal khusus sebagai berikut:
  - 1) lapisan pasir yang berpotensi mengalami proses likuifaksi (*liquefaction*);
  - 2) lempung lunak dan sensitif;
  - 3) tanah organik ;
  - 4) tanah ekspansif;
  - 5) tanah bersifat "*kollapsible*" biasanya terjadi pada tanah berbutir halus yang mempunyai kohesi rendah, berat volume asli rendah, mudah mengalami perubahan volume (menurun) bila dibasahi dan diberi beban;



- 6) batu lempung atau *shales* yang bersifat mengembang dan menurun kekuatan gesernya bila dibongkar (*unload*) atau dikupas; jenis batuan ini kadang-kadang mempunyai kekuatan geser yang rendah;
- 7) batu kapur atau tanah *calcareous* yang mengandung rongga bekas pelarutan;
- 8) batu atau tanah "*gypsiferous*";
- 9) lempung berlapis-lapis (*varved clay*);
- 10) bukaan dalam tanah atau batuan bekas tambang yang sudah ditinggalkan;
- 11) formasi batuan yang intinya sama sekali tidak terambil atau batang bor terjatuh.

### 7.1.2 Fondasi

- a) Daerah fondasi adalah dasar lembah tempat bendungan dan bangunan utama lainnya ditempatkan. Penyelidikan bawah permukaan di daerah ini sangat dibutuhkan (Tabel 3) untuk mendapatkan data sebagai berikut:
  - 1) profil bawah permukaan yang memperlihatkan perlapisan tanah dan batuan termasuk lapisan atau zona lemah; lokasi bor inti yang kosong atau tak terambil dan yang terjatuh;
  - 2) karakteristik, sifat fisik dan teknis tanah, serta batuan yang lemah;
  - 3) elevasi muka air tanah dan bukti adanya tekanan air artesis dalam batuan dasar atau tanah.
- b) Pembuatan terowongan uji (*adit*) dalam ebatmen, sumur uji, paritan, pengeboran inti berdiameter besar kadang-kadang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil penyelidikan yang lebih terperinci. Demikian pula penggunaan pemotretan atau kamera dalam lubang bor merupakan cara yang lebih teliti untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Bor inti yang kosong atau patah harus dicatat. Hal ini kadang-kadang menginformasikan zona lemah yang mempengaruhi kestabilan fondasi atau galian dan merupakan saran untuk penyelidikan tambahan.
- c) Uji kelulusan air pada fondasi sangat dibutuhkan untuk menentukan daerah mana yang memerlukan pengendalian rembesan air.

### 7.1.3 Ebatmen

Ebatmen dari suatu bendungan adalah bagian dari bukit tempat kedua ujung bendungan menumpu. Daerah sekitar ebatmen seperti fondasi perlu diselidiki secara saksama. Kegagalan desain bendungan sering terjadi karena penyelidikan pada daerah ebatmen kurang terperinci. Rembesan sering sekali terjadi melewati daerah ebatmen. Dinding perbukitan sebelah udik dan hilir ebatmen kadang-kadang mempunyai lereng alam yang tegak. Tempat ini sering longsor sehingga menimbulkan kerusakan berat pada mulut galeri, saluran pengeluaran dan kenaikan permukaan air waduk. Oleh karena itu harus diselidiki dengan lebih terperinci.



Tabel 3 – Ikhtisar jenis pengujian yang perlu dilaksanakan untuk fondasi

Klasifikasi		Jenis uji	Jenis Fondasi			Standar Uji
Uji	Lokasi		Batuan	Tanah lempungan	Tanah pasir kerikil	
Permeabilitas	Lapangan	Pengujian lugeon	●	□	□	SNI 03-2411-1991
		Pengujian permeabilitas dalam lubang bor	□	●	●	SNI 03-3968-1995
		Pengujian permeabilitas sederhana		□	●	USBR
	Laboratorium	Pengujian permeabilitas contoh uji tak terganggu	□	●		SNI 03-2435-1991
Pengujian permeabilitas contoh terganggu		□	□	●	SNI 03-2435-1991	
Daya dukung	Lapangan	Pemetaan geologi teknik	●	●	●	SNI 03-2849-1992
		Pengeboran inti	●	●	●	SNI 03-2436-1991
		Uji penetrasi standar		●	●	SNI 03-4153-1996
		Uji penetrasi konus (CPT)		□	□	SNI 03-2827-1992
		Uji penetrasi konus dinamik (DCPT)		□	□	-
		Uji beban pelat	□	□	□	SNI 03-6796-2002
		Uji <i>pressuremeter</i>	□	□	□	ASTM D 4719
		Uji geser baling		□		SNI 06-2487-1991
		Uji geser langsung	□			SNI 2813:2008
	Laboratorium	Uji sifat fisik (indeks properti ) Kadar air, berat volume, spesifik graviti, batas cair, batas plastis, batas susut, gradasi, kadar organik	□	●	●	Batuan : SNI 03-2437-1991 Tanah dan pasir kerikil: SNI 03-1965-1990 SNI 03-3637-1994 SNI 03-1964-1990 SNI 03-1966-1990 SNI 03-1967-1990 SNI 03-3423-1994 ASTM D 2487-90 ASTM D-2488-90 ASTM D 2217
		Uji kuat tekan bebas / uniaksial	□	●		Batu : SNI 03-2825-1992 Tanah SNI 03-3638-1994
		Uji triaksial UU, CU	□	●	□	Tanah : SNI 03-4813-1998 SNI 03-2455-1991
		Uji geser langsung UU, CD	□	□	□	Batuan : SNI 03-2824-1992 Tanah : SNI 03-2813-1992
		Uji konsolidasi		●		Tanah : SNI 03-2812-1992
		Uji dispersif	□	□		Batuan dan tanah SNI 03-3405-1994 SNI 06-2485-1991
		Uji cepat rambat gelombang ultrasonik	●			
		Uji sifat tahan lekang ( <i>slake durability</i> )	●			SNI 03-3406-1994

● harus dilaksanakan      □ dilaksanakan bila diperlukan



#### 7.1.4 Lokasi pelimpah dan bangunan pengeluaran

Lokasi rencana pelimpah atau bangunan pengeluaran harus diselidiki secara teliti untuk mengetahui kualitas batuan dan perlapisan tanah yang lemah. Penyelidikan ini harus dapat memberi informasi tentang tebal lapisan tanah dan batu, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng galian dan menentukan cara penggalian yang paling tepat. Bila pelimpah dibangun berdekatan ujung bendungan, batuan dan tanah di antara bendungan dan pelimpah harus diselidiki dengan teliti.

#### 7.1.5 Bendungan pembantu

Banyaknya penyelidikan fondasi di lokasi bendungan pembantu tergantung pada tinggi bendungan. Pengeboran inti tetap dilakukan untuk bendungan semacam ini kalau diperlukan.

#### 7.1.6 Penyelidikan pada dinding kolam waduk

Dinding kolam waduk harus diselidiki untuk mengetahui apakah dapat menahan air tanpa rembesan yang berarti. Di samping itu, juga perlu diselidiki apakah lereng alam dalam kolam waduk cukup stabil bila terjadi penurunan air waduk secara tiba-tiba atau ada gempa bumi. Analisis harus dilakukan secara terperinci untuk mengetahui lokasi lereng yang berpotensi longsor. Longsoran massa tanah/batuan dalam jumlah besar dapat menimbulkan gelombang sangat tinggi sehingga dapat terjadi pelimpahan air. Penyelidikan muka air tanah dalam kolam waduk dan sekitarnya juga diperlukan, termasuk muka air tanah dari sumur-sumur penduduk. Pada daerah berbatu kapur gua dan rongga yang terbentuk karena pelarutan perlu diselidiki untuk mengetahui apakah air waduk tetap dapat tertampung. Daerah-daerah bekas pertambangan juga perlu diselidiki secara lebih saksama.

#### 7.1.7 *Borrow area* dan daerah galian

Penyelidikan pada *borrow area* dan daerah galian yang dalam dibutuhkan untuk memperoleh data sebagai berikut (Tabel 4):

- jumlah bahan yang tersedia, gradasi, jenis, kedalaman dan penyebarannya;
- pengambilan contoh tanah terganggu untuk mengetahui sifat teknis tanah seperti koefisien permeabilitas, karakteristik pemadatan, kekuatan geser tanah yang dipadatkan, sifat perubahan volume (konsolidasi) dan kadar air asli;
- pengambilan contoh tanah tak terganggu untuk mengetahui berat volume asli;
- kadar organik pada permukaan tanah harus diselidiki untuk mengetahui kedalaman pengupasan tanah dasar.

Pengambilan bahan urugan di sebelah udik bendungan harus mempertimbangkan pengaruh perendaman daerah *borrow area*. Oleh karena itu disarankan agar lokasi *borrow area* terletak pada elevasi cukup tinggi dan tidak terletak di bawah muka air waduk. Banyaknya titik penyelidikan tergantung pada homogenitas daerah yang diselidiki. Macam penyelidikan yang sering dilakukan biasanya meliputi pembuatan sumuran uji, bor tangan dan uji DCPT (uji *dynamic cone penetration*).



Tabel 4 – Ikhtisar pengujian untuk bahan timbunan bendungan tipe urugan

Pengujian untuk	Jenis Uji	Jenis Bahan			Standar
		Tanah Lempungan	Tanah Pasir & kerikil	Batu	
Sifat fisik	Kadar air	●	●	<input type="checkbox"/>	SNI 03-1965-1990
	Gradasi	●	●	<input type="checkbox"/>	ASTM D 2217 SNI 03-3423-1994 SNI 03-1964-1990
	Berat jenis	●	●	<input type="checkbox"/>	SNI 03-1967-1990
	Batas cair	●	-	-	SNI 03-1966-1990
	Batas plastis	●	-	-	SNI 03-3422-1994
	Batas susut	<input type="checkbox"/>	-	-	SNI 03-3637-1994
	Berat volume (tak terganggu)	●	-	-	
Karakteristik Mekanis	Pemadatan standar	●	-	-	SNI 03-1742-1989
	Pemadatan skala besar	●	●	<input type="checkbox"/>	
	Kepadatan relatif maksimum dan minimum	-	●	<input type="checkbox"/>	ASTM D-4253 ASTM D-4254
	Uji triaxial standar UU, CU	●	-	-	SNI 03-4813-1998 SNI 03-2455-1991
	Uji triaxial skala besar UU, CU	<input type="checkbox"/>	●	<input type="checkbox"/>	SNI 03-4813-1998 SNI 03-2455-1991
	Uji geser langsung UU, CD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	SNI 03-3420-1994 SNI 03-2813-1992
	Uji geser langsung skala besar UU, CD	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SNI 03-3420-1994 SNI 03-2813-1992
	Uji tekan bebas	<input type="checkbox"/>	-	-	SNI 03-3638-1994
	Uji permeabilitas standar	●	-	-	SNI 03-2435-1991
	Uji permeabilitas skala besar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SNI 03-2435-1991
	Uji konsolidasi	●	-	-	SNI 03-2812-1992
	Uji dispersif	●	-	<input type="checkbox"/>	SNI 03-3405-1994
Uji bahan batu	Uji absorpsi	-	<input type="checkbox"/>	●	SNI 03-2437-1991
	Uji berat jenis	-	<input type="checkbox"/>	●	SNI 03-2437-1991
	Uji kekekalan/ keawetan	-	<input type="checkbox"/>	●	SNI-03-3407-1994
	Uji sifat tahan lekang ( <i>slake durability</i> )	-	<input type="checkbox"/>	●	SNI 03-3406-1994
	Uji uniaxial	-	-	●	SNI 03-2825-1992
	Uji abrasi	-	<input type="checkbox"/>	●	SNI 03-2417-1991
● harus dilaksanakan <input type="checkbox"/> dilaksanakan bila ada keraguan ( <i>engineering judgement</i> )					

### 7.1.8 Penyelidikan di daerah penambangan batu (daerah kuari)

Penyelidikan di daerah kuari dimaksudkan untuk:

- membantu dalam desain lereng galian;
- mengevaluasi struktur geologi yang berpengaruh;
- mendapatkan informasi tentang teknik peledakan dan tingkat pelapukan batuan, termasuk ukuran dan bentuk batuan;
- mendapatkan bahan urugan batu yang mewakili untuk uji pemadatan lapangan;
- memberi informasi yang cukup mengenai sifat batuan pada waktu dibor dan diledakkan;
- mendapatkan data tentang jumlah dan kualitas bahan urugan batu yang tersedia.



### 7.1.9 Faktor teknis lapangan lainnya

Faktor-faktor yang juga harus dipertimbangkan dalam desain bendungan tipe urugan adalah:

- a) pemilihan tipe alat pemadat yang paling efektif, tebal tiap lapis, jumlah gilasan dan kadar air pemadatan;
- b) ukuran maksimum butiran yang diperkenankan;
- c) jumlah degradasi atau segregasi pada waktu pengangkutan dan pemadatan;
- d) sifat teknis seperti kepadatan lapangan, permeabilitas, pembagian butir, dan kekuatan geser.

Kadang-kadang informasi tersebut belum ada pada penyelidikan awal di *borrow area* yang sama. Oleh karena itu, uji pemadatan lapangan yang dikombinasi dengan uji laboratorium akan memberi manfaat yang baik. Uji pemadatan lapangan dilakukan terhadap contoh tanah atau batu dari *borrow area* atau kuari yang dipadatkan dengan berbagai alat pemadat untuk mendapatkan hasil yang paling efektif. Pada umumnya uji pemadatan lapangan dikerjakan pada permulaan konstruksi.

### 7.1.10 Penyimpanan contoh tanah atau batuan

Contoh tanah atau batu asli yang terambil dari fondasi, ebatmen, galian pelimpah dan *borrow area* atau tempat lainnya harus disimpan di suatu tempat penyimpanan khusus, paling sedikit setelah ada izin operasi waduk permanen. Setiap saat contoh harus siap diperiksa bila ada hal-hal penting yang menyimpang dari perkiraan semula.

## 7.2 Uji laboratorium

- a) Standar uji laboratorium SNI yang telah diterbitkan harus digunakan sebagai acuan pengujian. Jika belum ada SNI-nya, dapat digunakan standar-standar yang lazim dilakukan di Indonesia. Uji kekuatan geser biasanya memerlukan waktu lama dan biaya sangat tinggi sehingga pengujian dibatasi pada fondasi dan bahan urugan yang mewakili. Pemilihan contoh yang akan diuji harus dilakukan setelah dideskripsi.
- b) Staf fisik dan teknik urugan tanah dan batu harus diselidiki untuk menjadi data masukan dalam analisis stabilitas lereng. Pengujian dilakukan pada contoh yang dapat mewakili dan dibuat dengan kepadatan dan kadar air yang sesuai dengan kondisi di lapangan (lihat Tabel 4).

## 8 Desain fondasi dan ebatmen

### 8.1 Pengendalian rembesan air

Rembesan air melewati fondasi dan ebatmen dapat dikendalikan dengan menggunakan dinding halang (*cutoff wall*) rembesan air, lapisan kedap air horizontal sebelah udik dan lapisan drainase horizontal sebelah hilir. Pada ebatmen dapat digunakan galeri. Setiap cara akan dibahas secara lebih terperinci pada pasal-pasal berikut ini.

#### 8.1.1 Desain dinding halang rembesan air

##### 8.1.1.1 Parit halang diisi dengan material kedap air

Suatu dinding halang rembesan air dapat dibuat dengan menggali paritan di bawah inti bendungan melewati perlapisan fondasi yang rembes air. Kemudian paritan tersebut diisi kembali dengan bahan kedap air yang dipadatkan. Untuk mendapatkan dinding yang baik, lebar dasar harus diambil seperempat perbedaan tinggi muka air waduk maksimum dan tinggi muka air hilir dan lebar minimum tidak boleh kurang dari 6,00 m. Bila gradasi



bahan isian kedap air tidak berfungsi sebagai filter terhadap material fondasi rembes air, perlu ditambahkan satu lapisan antara yang dapat berfungsi sebagai filter. Sistem pengeringan (*dewatering*) biasanya dibutuhkan pada waktu pelaksanaan penggalian parit halang dan pengisian kembali.

#### 8.1.1.2 Dinding halang slari dan beton

Dinding halang rembesan air dapat juga diperoleh dengan membuat dinding halang slari menembus lapisan fondasi rembes air sampai kedalaman maksimum yang diperlukan. Biasanya dinding semacam ini mempunyai ketebalan antara 60 cm sampai 100 cm. dan dibuat dengan menggali paritan yang distabilkan slari bentonit atau beton. Lokasi paritan biasanya ditempatkan pada bagian di kaki udik bendungan yang juga berfungsi meningkatkan kestabilan fondasi bendungan. Pada fondasi material bongkahan batu, atau karakal digunakan bentonit untuk mencegah keruntuhan. Pada waktu pelaksanaan, dapat terjadi runtuh paritan, sehingga kemungkinan pada bagian itu tidak terisi isian kedap air. Hal ini harus dicegah karena akan menimbulkan bagian yang lemah dan air dapat merembes. Bila dinding halang slari digunakan sebagai konstruksi pengendali rembesan air, maka pada waktu pengisian pertama waduk harus dilakukan pengamatan pisometer secara kontinu. Bila dinding halang slari tidak berfungsi secara efektif, perlu dipasang lapisan drainase sebelum menaikkan air waduk lebih lanjut.

#### 8.1.1.3 Dinding halang injeksi

- a) Injeksi melewati fondasi batuan atau tanah (termasuk ebatmen yang digunakan untuk mengurangi rembesan dan tekanan angkat pada bagian hilir bendungan. Rembesan air pada fondasi atau ebatmen dari batuan biasanya melewati kekar atau rekahan. Efektivitas injeksi tergantung pada sifat kekar (lebar, kerapatan, isian dll), campuran, peralatan dan prosedurnya.
- b) Injeksi tirai biasanya dilakukan dengan membuat lubang bor di bawah zona kedap air dari bendungan tipe urugan. Kemudian ke dalam lubang itu diinjeksikan sejumlah campuran bahan injeksi dengan tekanan tertentu. Injeksi tirai yang baik harus dibuat minimal tiga baris pada fondasi batuan. Dalam pelaksanaannya, injeksi tirai pada fondasi harus dikombinasi dengan penggunaan bahan semen dan kimiawi. Bahan kimiawi digunakan pada baris sebelah dalam, sedangkan bahan semen pada baris sebelah luar. Dengan melakukan studi geoteknik secara saksama, pendesain bendungan bersama-sama dengan ahli geoteknik dapat menentukan lokasi, kedalaman lubang, dan prosedur injeksi tirai pada gambar rencana.
- c) Pada bagian fondasi atau ebatmen yang dilewati sesar sangat dibutuhkan studi yang saksama, terutama pada bidang geseran yang mengandung batuan hancur atau banyak rekahan. Pada daerah sesar disarankan pengisian dengan injeksi konsolidasi. Bila sesar memotong sumbu bendungan, dianjurkan untuk melakukan penggalian sepanjang bagian sesar di bawah bendungan, dan pengisian beton penutup melalui pipa injeksi.
- d) Daerah batu kapur yang mengandung rongga bekas material terlarut pada fondasi atau ebatmen bendungan harus diisi dengan cara injeksi menggunakan beberapa baris lubang injeksi. Hal ini dilakukan untuk mencegah masuknya butir halus material bendungan ke dalam rongga-rongga karena proses erosi buluh. Rongga-rongga itu akan runtuh dan menimbulkan retakan pada tubuh bendungan bila tidak diisi dengan injeksi.
- e) Pelaksanaan injeksi harus mengacu pada standar SNI 03-2393-1990.



### 8.1.2 Desain selimut kedap air horizontal sebelah udik

Selimut kedap air horizontal yang dipasang di sebelah udik merupakan cara praktis untuk mengurangi rembesan dan tekanan angkat di sebelah hilir. Biasanya dibuat menjadi satu kesatuan dengan bagian urugan yang kedap air dan dikombinasi dengan pemasangan sumur pelepas tekanan (*relief wells*) atau lapisan drainase di hilir bendungan. Bahan urugan di udik bendungan, dianjurkan tidak diambil dari lapisan kedap air yang sudah ada secara alamiah dari daerah genangan. Efektivitas selimut kedap air horizontal sebelah udik tergantung pada panjang, tebal, permeabilitas bahan dan permeabilitas fondasi.

### 8.1.3 Desain lapisan drainase

Lapisan drainase yang terpasang antara fondasi dan bagian urugan sebelah hilir dapat berfungsi ganda yaitu sebagai pengendali rembesan air baik melewati urugan maupun melewati fondasi.

### 8.1.4 Desain sumur pelepas tekanan (*pressure relief wells*)

Perlapisan tanah atau batuan di bawah fondasi seringkali tidak homogen. Pemasangan lapisan drainase di permukaan fondasi, yang berlapis-lapis, mengandung lensa pasir atau material rembes air (permeabilitas arah horizontal besar) biasanya kurang efektif untuk mengurangi tekanan angkat di bawah fondasi. Namun, akan lebih efektif dengan pemasangan sumur pelepas tekanan yang menembus lapisan rembes air. Biasanya sumur pelepas tekanan dipasang di hilir bendungan dan terbuat dari material yang memenuhi persyaratan sebagai filter. Sumur pelepas tekanan harus ditempatkan dengan posisi ujung bagian atasnya mudah dibersihkan. Selain itu air juga dapat dialirkan ke saluran terbuka atau suatu sistem pengumpulan air di luar bendungan. Pemeliharaan harus dilakukan secara kontinu untuk mempertahankan efisiensi kerja sumuran.

### 8.1.5 Desain drainase kaki lereng

Pada umumnya perlemahan pada kaki lereng hilir bendungan terjadi karena pembuntuan akibat terisi oleh butiran pada sistem drainase horizontal. Penggunaan sumur pelepas tekanan atau lapisan drainase horizontal sampai lapisan batuan tidak dapat mencegah perlemahan pada kaki lereng hilir bendungan. Untuk mencegah kejadian ini, biasanya digunakan sistem drainase di kaki lereng hilir dan dikombinasi dengan drainase horizontal atau sumur pelepas tekanan. Bahan yang digunakan untuk drainase kaki lereng harus memenuhi persyaratan filter.

### 8.1.6 Desain galeri

Galeri biasanya digunakan untuk mengendalikan rembesan air melewati ebatmen. Galeri digali menembus ebatmen dengan arah sejajar sumbu bendungan dan di dalamnya dibuat lubang-lubang drainase untuk mengendalikan rembesan air lewat ebatmen. Ukuran galeri harus cukup besar untuk memungkinkan pelaksanaan injeksi di kemudian hari bila dibutuhkan.

## 8.2 Pekerjaan persiapan pada fondasi dan ebatmen

### 8.2.1 Tanah fondasi

- a) Untuk perlapisan tanah lunak perlu dipertimbangkan beberapa cara yaitu :
  - 1) konstruksi urugan secara bertahap;
  - 2) perkuatan tanah fondasi (drainase vertikal);
  - 3) penggalian tanah fondasi yang lunak;
  - 4) pembuatan lereng urugan lebih landai;



5) *Soil replacement.*

- b) Pekerjaan fondasi biasanya mencakup:
- 1) pembersihan batang-batang kayu, tumbuh-tumbuhan lain, dan akar-akar besar;
  - 2) pengupasan untuk menghilangkan lapisan tanah berumput, tanah penutup mengandung bongkah, bahan organik, bekas sampah buangan dan material lainnya yang dapat mempengaruhi kekuatan geser fondasi.
- c) Tanah fondasi yang baru dikupas biasanya mempunyai permukaan yang agak lepas sehingga perlu dipadatkan. Namun bila lapisan tanah terdiri atas tanah lempung atau lanau dengan kadar air tinggi atau derajat kejenuhan tinggi, disarankan pemadatan dilakukan dengan menggunakan alat pemadat ringan (roda karet).
- d) Penurunan tidak merata pada fondasi akan mengakibatkan timbulnya zona tegangan tarik pada bagian teratas urugan, terutama di sekitar ebatmen, sungai lama atau tanah fondasi yang terdiri atas lapisan tanah lunak yang tebal sehingga terjadi retakan melintang dan memanjang. Hal ini dapat dicegah dengan membuat lereng galian tidak terlalu tegak pada ebatmen dibawah inti bendungan.

### 8.2.2 Batuan fondasi

- a) Batuan fondasi di atas harus dibersihkan dari fragmen lepas. Permukaan batuan yang menonjol harus diratakan agar dapat dilewati alat pemadat. Rekahan, kekar dan bukaan di bawah inti bendungan harus diisi dengan mortar atau lapisan beton tumbuk.
- b) Penggalian dengan cara peledakan yang dapat merusak fondasi batuan harus dihindari.
- c) Fondasi dari batu lempung (*shales*) yang mudah berubah sifat kuat gesernya harus diperhatikan secara khusus. Hal itu disebabkan dapat terjadi retakan pada waktu mongering atau melunak pada waktu mengembang. Penggalian melewati perlapisan batu lempung harus dilakukan agar lapisan ini tidak dibiarkan terbuka terlalu lama.
- d) Bendungan tipe urugan (homogen atau zonal) yang dibangun di atas fondasi batu yang mengandung banyak rekahan harus dicegah terhadap kemungkinan masuknya butiran halus dari urugan ke dalam rekahan. Caranya dengan membuat inti lebih dalam sampai mencapai lapisan batuan segar. Dan pada lapisan sebelah luar dipasang lapisan filter horizontal di atas fondasi.
- e) Daerah sesar atau kekar yang tidak begitu lebar; fondasi harus digali dan diisi kembali dengan beton tumbuk sedalam minimum dua sampai tiga kali lebarnya. Hal ini bertujuan untuk menyebarkan tegangan secara lebih merata pada daerah sesar atau kekar dan mencegah masuknya butiran halus dari bendungan ke dalam sesar atau kekar. Selain itu, bagian di bawah beton tumbuk harus diinjeksi seperti yang dilakukan di bawah inti bendungan.  
Untuk daerah sesar yang sangat lebar, digunakan beton bertulang (*reinforcement concrete*) yang tergantung pada tinggi dan jenis bendungan. Biasanya di udik bendungan dipasang blanket (dengan mortar atau bahan lain) ke arah udik, tergantung arah sesar terhadap sumbu bendungan, dan dipasang setempat-setempat untuk menutupi sesar.

### 8.2.3 Perbaikan ebatmen

Bentuk permukaan ebatmen yang tidak teratur dan mengandung banyak retakan merupakan bagian yang lemah. Permukaan ebatmen yang berhubungan dengan inti dan filter harus teratur bentuknya. Semua bagian yang tidak teratur harus dibuang atau dibentuk menjadi lereng yang seragam. Bagian yang tak teratur dapat diisi dengan beton. Permukaan batuan yang vertikal di bawah urugan harus dicegah. Lereng ebatmen yang



landai lebih menguntungkan untuk mencegah retakan pada urugan. Dalam pelaksanaannya lereng galian ebatmen dibatasi dengan kemiringan 1:1 (vertikal:horizontal) sampai 2:1.

## 9 Desain tubuh bendungan

### 9.1 Bahan urugan

#### 9.1.1 Tanah

Yang dimaksud dengan tanah di sini adalah semua material, termasuk batuan lapuk yang mudah pecah waktu pengangkutan atau pemadatan. Hampir setiap jenis tanah yang ditemukan di sekitar lokasi dapat digunakan sebagai bahan urugan tanah. Kecuali tanah yang mengandung bahan organik lebih dari 5%, bahan yang mudah larut atau mengandung mineral montmorilonit dalam persentase tinggi (ekspansif) dan tidak termasuk lempung dispersif (SNI 03-3405-1994).

Bila tanah berbutir halus yang tersedia di tempat pemadatan mempunyai kadar air pemadatan berkisar antara kadar air optimum kurang 1% (OMC-1%) sampai kadar air optimum ditambah 3% (OMC+3%), maka dapat digunakan sebagai bahan urugan. Di daerah tropis seperti Indonesia, umumnya tanah lempung mempunyai kadar air asli melampaui beberapa persen (>5%) terhadap kadar air optimumnya, sehingga pemadatan tidak selalu dapat dilakukan mengikuti prosedur standar ( $OMC-1\% < w_{lap} < OMC+3\%$ ).

Pemadatan tanah ini dapat dilakukan dalam keadaan basah yaitu pada OMC+3%. Namun bila diberi beban, tekanan air pori mudah meningkat. Pengeringan tanah biasanya sulit dilakukan karena setelah dipadatkan, kadar air tanah kembali ke kadar air aslinya sebelum pengeringan. Jenis tanah yang kadar airnya kurang dari OMC-1% perlu dibasahi sebelum pemadatan. Pemadatan harus mencapai derajat kepadatan  $D \geq 92\%$ . Juga dipersyaratkan bahan kedap air mempunyai koefisien permeabilitas  $k \leq 10^{-5}$  cm/s.

Pada waktu pengeringan tanah lempung yang tinggi derajat penyusutannya harus ditutup plastik agar tidak terjadi evaporasi. Tanah lempung tidak boleh digunakan sebagai bahan urugan bila berhubungan dengan konstruksi beton atau pasangan batu, kecuali pada lapisan kedap air dari bendungan tipe urugan. Urugan tanah yang dipadatkan secara baik dengan berat volume tinggi mempunyai kuat geser tinggi dan kompresibilitas rendah.

#### 9.1.2 Pasir kerikil

- Urugan pasir kerikil harus padat dengan kuat geser dan koefisien permeabilitas cukup tinggi dan kompresibilitas rendah. Pada umumnya kuat geser akan tinggi bila bahan urugan padat mengandung butiran yang bervariasi dan berat volume kering tinggi. Permeabilitas tergantung pada kadar butir halus. Kompresibilitas akan rendah bila berat volume kering tinggi dan kepadatan urugan ditentukan oleh kepadatan relatifnya.
- Kuat geser urugan pasir kerikil ditentukan oleh sudut geser dalam. Untuk urugan pasir kerikil yang mengandung kadar butir halus (ukuran butir  $< 0,074$  mm) harus ditinjau pengaruh kuat gesernya terhadap perubahan tekanan air pori waktu konstruksi, karena peningkatan tekanan air pori akan mengurangi kuat geser.
- Urugan pasir kerikil biasanya digunakan sebagai bahan filter, yang ditempatkan antara bahan urugan dengan permeabilitas rendah dan bahan lulus air tinggi, serta berfungsi untuk mencegah terjadinya erosi buluh. Untuk persyaratan filter lihat standar filter.

#### 9.1.3 Batu

Batuan segar atau batuan lapuk masif yang mempunyai kekuatan cukup tinggi dapat digunakan sebagai bahan urugan batu yang dipadatkan. Batuan yang hancur menjadi butiran halus pada waktu penggalian, pengangkutan atau pemadatan tidak bisa digunakan sebagai bahan urugan batu. Ketersediaan bahan urugan batu harus diperiksa dengan melakukan studi terhadap sifat teknis bahan dengan uji kuat tekan, uji absorpsi, dan



uji sifat tahan lekang batu. Beberapa syarat penting yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

- a) Koefisien permeabilitas batu ideal harus lebih besar atau sama dengan  $10^{-3}$  cm/s.
- b) Ukuran batu ideal harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
  - 1) Berdiameter rata-rata 45 sampai 60 cm dengan berat minimum 250 sampai 500 kg atau lebih dan bentuk batu tidak pipih.
  - 2) Jumlah batu berdiameter kurang dari 10 cm tidak boleh lebih dari 5%.
  - 3) Bahan batu tidak mudah pecah, baik dalam pengangkutan maupun saat penuangan dari alat-alat pengangkutan.
- c) Kuat tekan untuk bendungan rendah 200-280 kg/cm<sup>2</sup> bendungan sedang 280-350 kg/cm<sup>2</sup> dan bendungan tinggi 350-450 kg/cm<sup>2</sup>.
- d) Sifat durabilitas (tahan lekang) terhadap air dan perubahan cuaca dilakukan dengan uji tahan lekang dengan menggunakan sodium sulfat dengan nilai perubahan berat kurang dari 15% dianggap baik. Uji absorpsi harus kurang dari 3% dan nilai spesifik graviti minimal 2,5.
- e) Bahan urugan batu tidak boleh mengandung zat kimia yang mempunyai pH terlalu rendah (< 5) atau terlalu tinggi (>9).

## 9.2 Desain bendungan tipe urugan tanah

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam desain adalah seperti berikut ini:

- a) Bahan urugan yang digunakan adalah bahan yang kedap air atau semikedap air yang mengandung banyak butiran halus. Bendungan biasanya didesain dengan lereng landai sehingga membutuhkan volume bahan lebih banyak dibandingkan dengan bendungan tipe lainnya. Namun, hal ini masih menguntungkan karena untuk bendungan rendah mudah pelaksanaannya.
- b) Garis freatik pada bendungan tipe urugan homogen biasanya memotong lereng hilir pada saat air waduk mencapai elevasi tinggi. Untuk menurunkan garis freatik ini, perlu dipasang sistem drainase. Sistem drainase ini berfungsi untuk mencegah erosi buluh, penurunan lokal atau keruntuhan pengaruh gaya perembesan air, dan harus didesain memenuhi kriteria filter. Jenis-jenis sistem drainase yang dapat dipilih yaitu :
  - 1) Sistem drainase kaki (*toe drain*) biasanya dibuat pada kaki hilir bendungan.
  - 2) Sistem drainase horizontal biasanya dibuat horizontal dalam tubuh bendungan (lihat Gambar D.1 Lampiran D).
  - 3) Sistem drainase vertikal (*chimney drain*) biasanya lebih kompleks dibandingkan sistem drainase di atas dan terdiri dari bagian vertikal dan bagian horizontal; bagian vertikal berfungsi sebagai penyerap (*interseptor*).
  - 4) Sistem drainase kombinasi merupakan sistem drainase kombinasi a), b) dan c).
 Pemasangan sistem drainase kaki atau horizontal hanya digunakan untuk bendungan tinggi kurang dari 25 meter. Untuk bendungan dengan tinggi 25 meter keatas, dipilih drainase vertikal dan harus dipasang mulai dari pusat bendungan. Hal ini dilakukan untuk menurunkan garis freatik secara cepat agar tekanan air pori berkurang. Bila tekanan air pori diperkirakan akan meningkat sangat tinggi waktu konstruksi, dipilih sistem drainase kombinasi dengan tebal 0,50-1,00 m dan interval setiap 10,00-15,00 m. Contoh-contoh sistem drainase dapat dilihat pada Lampiran D Gambar D.1 (lihat RSNI M-02-2002, Metode analisis dan cara pengendalian rembesan air untuk bendungan tipe urugan).
- c) Lebar inti kedap air mempengaruhi kestabilan lereng dan biasanya dipilih sesuai dengan perbandingan antara harga dan bahan yang tersedia di lapangan. Pada umumnya lebar inti atau lebar parit halang rembesan air di dasar fondasi dapat diambil sama atau lebih besar dari seperempat perbedaan tinggi "*head*" (Beda tinggi muka air maksimum waduk dengan tinggi muka air hilir bendungan). Lebar puncak inti bendungan dapat diambil minimal 3,0 m, sedangkan lebar maksimumnya tergantung pada kestabilan bahan urugan yang digunakan (lihat RSNI M-03-2002, Metode analisis stabilitas lereng statik bendungan tipe urugan).



- d) Di lapangan sering sekali ditemukan bahan urugan tidak homogen dengan koefisien permeabilitas yang bervariasi dan tersedia dalam jumlah yang cukup banyak. Agar bahan urugan ini dapat digunakan tanpa proses atau pencampuran awal, tubuh bendungan harus dilengkapi dengan drainase vertikal dan horizontal. Drainase ini berfungsi mengatur rembesan air di sebelah hilir bendungan.
- e) Hempasan ombak dan penurunan mendadak permukaan air waduk dapat menggerus permukaan lereng udik bendungan. Guna pengamanannya diperlukan suatu hamparan pelindung dengan konstruksi yang bervariasi, di antaranya hamparan batu pelindung (rip rap), hamparan batu kosong pelindung, dan hamparan aspal/beton pelindung. Hamparan batu pelindung (rip rap) dianggap yang paling baik dengan karakteristiknya sebagai berikut:
- 1) dapat mengikuti proses penurunan bendungan;
  - 2) mempunyai daya reduksi besar terhadap jangkauan hempasan ombak, sehingga tinggi jagaan dapat dikurangi;
  - 3) ketahanan tinggi di bawah tekanan air;
  - 4) pembiayaan paling rendah, terutama bila tempat penggalian bahan batu tidak jauh letaknya.

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam merencanakan konstruksi pelindung lereng udik adalah sebagai berikut.

- 1) Kualitas bahan harus cukup mampu bertahan (tidak pecah) terhadap gilasan alat-alat pemadat, kekuatan hempasan ombak dan pengaruh-pengaruh penggantian kondisi basah/kering secara terus menerus.
- 2) Bahan urugan batu harus mempunyai dimensi serta berat yang memadai agar tidak dapat digerakkan oleh gaya hempasan ombak.
- 3) Konstruksi pelindung harus mempunyai tebal tertentu, sehingga ombak di atas permukaan waduk tidak dapat menyentuh material urugan secara langsung (periksa Tabel 5).

**Tabel 5 Ukuran batu dan tebal hamparan pelindung lereng udik bendungan**

Tinggi gelombang (m)	Diameter rata-rata batu hamparan pelindung $D_{50}$ (cm)	*Tebal minimum hamparan batu pelindung (cm)	Tebal minimum lapisan filter (cm)
0 – 0,6	25	30	15
0,61 – 1,20	30	45	15
1,21-1,80	38	60	23
1,81-2,40	45	75	23
2,41-3,0	52	90	30

\* Lebih tebal dari  $1,5 \times D_{50}$ ; bentuk bersegi-segi lebih baik daripada bentuk bulat; gradasi bahan filter harus dipilih agar butiran urugan bendungan yang dilindungi tidak tersedot keluar oleh gaya-gaya hempasan ombak.

- f) Pelindung lereng hilir biasanya dimaksudkan untuk melindungi permukaan lereng terhadap erosi dan terhadap pengaruh-pengaruh cuaca lainnya, seperti radiasi sinar matahari dan temperatur rendah. Pada bendungan yang tinggi dibuat satu atau beberapa berm membujur hampir datar pada permukaan lereng. Hal ini dilakukan untuk memperkecil lintasan langsung aliran air hujan di atas permukaan lereng dan sekaligus dapat meningkatkan stabilitas lereng hilir. Di samping itu, pada permukaan lereng di atas berm, biasanya dibuatkan beberapa jalur saluran drainase penangkap aliran air hujan, membujur sejajar dengan berm dengan jarak antara 10 m. Dari saluran-saluran drainase tersebut, air hujan dialirkan ke dalam selokan yang dibuat pada berm dan selanjutnya dialirkan ke saluran pembuangan utama keluar dari daerah tubuh bendungan.

### 9.3 Desain bendungan tipe urugan zonal



Urugan sebaiknya dibuat dalam beberapa zona agar semua material yang ada di sekitar lokasi bendungan dapat digunakan secara optimal. Zona-zona dengan permeabilitas dan sifat tanah yang berbeda harus didesain agar tidak terjadi perubahan sifat yang terlalu besar. Pada batas antara dua zona dengan beda permeabilitas harus dipasang filter. Pada umumnya bendungan urugan tipe zonal terdiri atas zona kedap air, zona semi lulus air, dan zona lulus air. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam desain bendungan tipe urugan zonal adalah seperti berikut ini.

a) Zona kedap air

- 1) Koefisien permeabilitasnya harus lebih kecil dari  $10^{-5}$  cm/s; retakan atau keruntuhan pengaruh rembesan air pada waktu konstruksi atau terjadi gempa bumi harus dihindari.
- 2) Gradasi zona kedap air harus dipilih agar tidak terjadi penurunan yang berbeda dengan zona di sampingnya, yang dapat menimbulkan retakan pengaruh pelengkungan (*arching*). Hal ini biasanya terjadi bila modulus elastisitas filter dari zona transisi berbeda dengan zona inti kedap air.
- 3) Tebal rata-rata zona kedap air ditentukan dan tergantung pada batas minimum rembesan yang diperkenankan, hubungan antara sifat fisik bahan di sampingnya, ada atau tidak adanya filter dan lebar minimum untuk konstruksi. Pada umumnya tebal rata-rata 30%-50% dan tinggi air adalah aman walaupun pelaksanaannya kurang baik. Apabila desain dan konstruksi dilaksanakan secara sempurna, tebal rata-rata dapat diambil 15%-20% dari tinggi air.

b) Filter

- 1) Bila dua material bergradasi sangat berlainan (seperti urugan lanau dan urugan batu) ditempatkan berdampingan dan dialiri air, butiran lanau akan mengalir masuk ke dalam urugan batu yang disebut sebagai erosi buluh. Untuk mencegah hal itu, ditempatkan material filter dengan gradasi yang memenuhi persyaratan tanpa membawa butiran halus.
- 2) Filter biasanya ditempatkan pada kedua sisi zona kedap air yaitu di sisi udik untuk mencegah erosi buluh pada kondisi surut cepat dan di sisi hilir untuk mencegah erosi buluh pada kondisi aliran langgeng.
- 3) Rembesan air dari zona filter ditampung melalui zona drainase horizontal tanpa merembes melalui zona transisi dan zona lulus air. Hal ini dilakukan untuk menghindari agar tidak terjadi pembasahan pada lereng hilir urugan.
- 4) Tebal filter biasanya disesuaikan dengan kemudahan dalam pelaksanaan (*workability*), pengaruh pembuntuan (*clogging*), dan gempa bumi. Tebal filter horizontal minimum 2,00 m sampai 3,00 m dan tebal minimum filter miring adalah 2,00 m dekat puncak bendungan.
- 5) Zona filter berfungsi untuk menyaring butiran halus dari zona kedap air agar tidak terlepas dan tertahan di filter. Bila zona kedap air terdiri atas material relatif kasar, dibutuhkan hanya satu zona filter. Bila digunakan material sangat halus, ada kemungkinan diperlukan beberapa lapis filter.

c) Zona transisi atau **semilulus air**

- 1) Zona transisi biasanya dipasang antara zona kedap air dan zona lulus air. Zona ini berfungsi untuk mencegah terjadinya perubahan gradasi yang besar dan mencegah pengaruh deformasi berlebih antara zona kedap air dan zona lulus air.
- 2) Bahan zona transisi dapat berupa pasir dicampur kerikil, batuan lapuk, atau batu pecah di sebelah luar yang lebih kasar dari bahan kedap air, antara lain bahan rombakan (*talus*) atau batuan terlapuk berat.

d) **Zona lulus air**

- 1) Zona lulus air berfungsi memikul beban air dan menstabilkan lereng hilir dan udik terhadap pengaruh gaya-gaya luar. Bahan urugan yang digunakan harus mempunyai kekuatan geser yang tinggi.
- 2) Bahan harus sangat lulus air agar terjadi aliran air bebas akibat air hujan dan air tersisa waktu terjadi surut cepat di lereng udik.



- 3) Material terbaik untuk urugan zona lulus air adalah batuan keras (periksa 9.1.3) ukuran bongkah, kerakal, kerikil, dan kadar butiran halus harus sekecil mungkin. Bagian yang terpasang pada bagian udik harus mempunyai ketahanan tinggi terhadap gelombang air (periksa 9.2. f).
- 4) Hamparan batu pelindung atau riprap harus dipasang pada lereng udik. (periksa 9.2. e).

#### 9.4 Desain bendungan tipe urugan membran

Apabila di daerah sekitar lokasi calon bendungan terdapat banyak bahan urugan lulus air, tetapi langka bahan kedap air, bendungan tipe membran merupakan alternatif yang paling memungkinkan. Bahan lembaran membran biasanya menggunakan pelat beton bertulang, beton aspal dan kadang-kadang lembaran baja, lembaran karet, lembaran geosintetik. Retakan di permukaan membran akibat berat sendiri, gaya gempa dan tekanan air harus dihindari dalam desain. Pada bendungan tinggi harus dipasang galeri untuk mengendalikan rembesan air. Tipe bendungan ini mempunyai ketahanan tinggi terhadap keruntuhan. Namun, harus dihindari terhadap penurunan tidak merata dan deformasi pada bendungan.

##### 9.4.1 Desain bendungan tipe urugan batu dengan membran beton aspal

- a) Tubuh bendungan  
Bahan yang digunakan adalah urugan batu pecah bergradasi baik (*well graded*) atau urugan batu atau kerikil pasiran. Urugan harus dipadatkan untuk memperkecil ruang pori dan meningkatkan berat volume.  
Zona transisi harus dipasang antara membran kedap air dan zona urugan batu. Zona ini berfungsi untuk menyebarkan tekanan air secara merata ke seluruh tubuh bendungan dan mencegah pengaruh penurunan membran yang tidak merata.
- b) Membran beton aspal (periksa Gambar D.5 dan D.6 Lampiran D)
  - 1) Biasanya terdiri atas lapisan kedap air, lapisan drainase, lapisan dasar (*base layer*) dan membran pelindung (*protection membrane*).
  - 2) Lapisan kedap air didesain dengan kadar aspal 8% dan tebal 40-80 mm yang berupa beton aspal bergradasi padat (*dense graded asphalt concrete*). Bila ada lapisan drainase, paling sedikit dibutuhkan dua lapisan kedap air untuk mencegah rembesan antara sambungan. Bila tidak terpasang lapisan drainase maka paling sedikit harus dipasang tiga lapisan kedap air.
  - 3) Lapisan drainase berfungsi untuk mengalirkan air rembesan keluar dari tubuh bendungan dan desain menggunakan beton aspal dengan kadar aspal 4% bergradasi terbuka (*open graded asphalt concrete*) dan koefisien permeabilitas  $10^{-2}$  cm/det serta tebal 50-80 mm.
  - 4) Lapisan transisi dipasang di antara urugan batu dan lapisan dasar yaitu gabungan lapisan pengikat (*binder layer*) dan lapisan perataan (*levelling layer*). Lapisan ini berupa batu pecah dengan ukuran butir 50-100 mm dan tebal minimum 35-50 mm. Lapisan pengikat dibuat dari beton aspal dengan kadar aspal 7% dan lapisan perataan dibuat dari beton tumbuk.
  - 5) Lapisan pelindung dibuat dari bahan aspal mastik (*mastic asphalt*) dengan tebal 2 mm.
  - 6) Galeri dan dinding halang
    - (a) Sambungan antara membran dan galeri harus dibuat kedap air.
    - (b) Galeri dipasang untuk mengamati rembesan melewati tubuh bendungan dan untuk melaksanakan injeksi bendungan yang fondasinya bersifat lulus air.
    - (c) Dinding halang dan galeri harus didesain dengan tipe dan ukuran yang tepat, agar pelaksanaannya mudah dilakukan.

##### 9.4.2 Desain bendungan tipe urugan batu dengan membran beton



- a) Tubuh bendungan  
Penjelasan sama dengan tipe urugan batu dengan membran beton aspal.
- b) Membran beton
  - 1) Membran kedap air yang terbuat dari beton bertulang didesain dalam lempengan pelat berukuran lebar 15,00 m dan panjang 30,00 m yang disambung satu terhadap yang lain menggunakan sambungan konstruksi kedap air.
  - 2) Tebal membran beton bervariasi tergantung pada tinggi tekanan air yang harus dipikul ( $\text{tebal} = 0,3 + 0,003 H$  ;  $H$  = tinggi air dalam m)
  - 3) Kuat tekan beton dapat didesain sesuai dengan peraturan beton yang berlaku dan berdasarkan kualitas beton yang dipilih.
  - 4) Perhitungan tegangan-regangan pada membran dan tubuh bendungan harus dilakukan dengan metode elemen hingga.

### 9.5 Desain bendungan tipe urugan membran

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan tipe bendungan diuraikan dalam Tabel 6.

**Tabel 6 Beberapa pertimbangan dalam pemilihan tipe bendungan**

Pertimbangan desain	Tipe urugan tanah homogin	Tipe urugan zonal	Tipe urugan membran
Tinggi bendungan	Tinggi maksimum 30 m , tetapi ada yang sampai 50 m asalkan desain sistem drainase baik.	Tidak terbatas. Untuk bendungan kecil, lebar zona menjadi sempit sehingga sulit pelaksanaannya	Tinggi tak terbatas di bendungan Areia (Brazil) 160m dan Jepang 70m
Sifat dan jumlah material yang dapat digunakan	Material tanah dibutuhkan dalam jumlah yang besar. Semua jenis tanah dapat digunakan	Hanya bila material kedap air, material semilulus air dan material lulus air ditemukan dalam jumlah yang cukup.	Dibutuhkan material lulus air dalam jumlah besar, gradasi baik dan kompresibilitas rendah.
Kondisi topografi bendungan	Tidak ada ketentuan khusus, tetapi ebatmen yang agak landai lebih menguntungkan.	Bentuk V untuk mengurangi volume bahan urugan , tetapi tidak selalu menguntungkan dari segi konstruksi dan tata letak bangunan.	Untuk ebatmen dengan lereng tegak , maka untuk konstruksi membran kedap air harus dilakukan dengan hati-hati.
Kondisi geologi lokasi bendungan	Bendungan rendah dapat dibangun walaupun daya dukungnya sangat rendah. Fondasi dapat diperbaiki.	Tidak menguntungkan membangun bendungan di atas fondasi tanah. Fondasi batu dibutuhkan untuk zona kedap air bendungan tinggi.	Tidak menguntungkan bila terletak diatas fondasi yang dapat menimbulkan penurunan tidak merata
Kondisi meteorologi	Tidak menguntungkan di daerah dengan intensitas hujan tinggi.	Dibutuhkan zona kedap air yang lebar di daerah dengan intensitas hujan tinggi. Pasir, kerikil dan batu tidak terpengaruh oleh intensitas hujan.	Tidak berpengaruh pada daerah dengan intensitas hujan tinggi.
Operasi waduk	Tidak menguntungkan bila terjadi surut cepat pada waduk	Bila diperkirakan terjadi surut cepat, maka harus diteliti permeabilitas dari zona-zona sebelah udik bendungan.	Surut cepat tidak berpengaruh. Deformasi cukup besar bisa terjadi pada pengisian waduk untuk pertama kalinya.

**Tabel 6 - Beberapa pertimbangan dalam pemilihan tipe bendungan (lanjutan)**

Pertimbangan	Tipe urugan tanah	Tipe urugan zonal	Tipe urugan
--------------	-------------------	-------------------	-------------



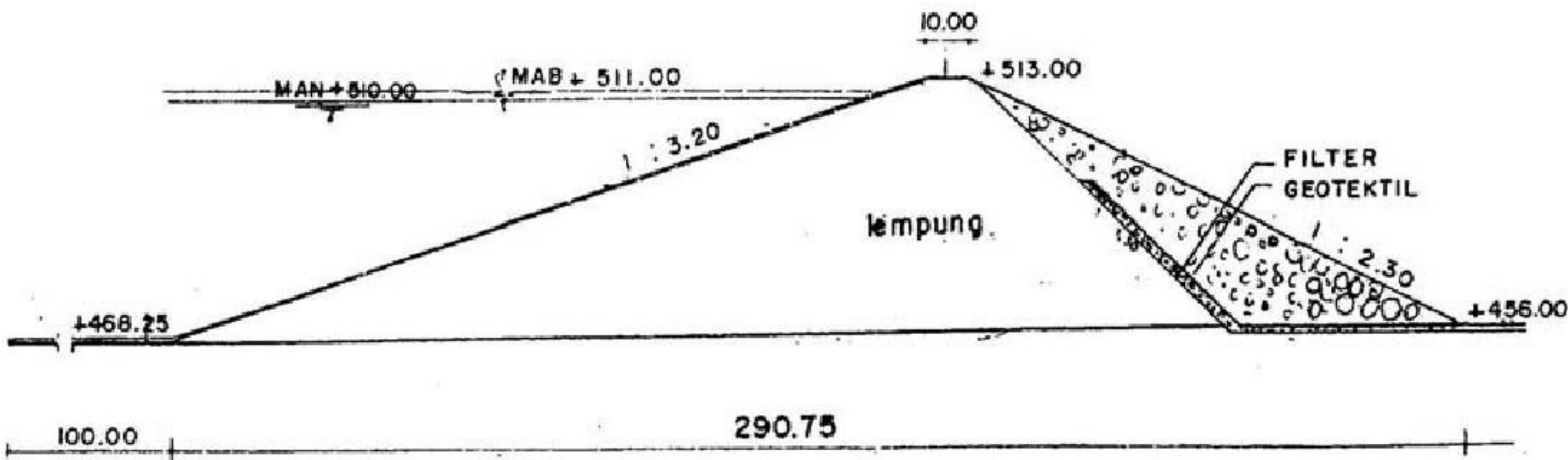
<b>desain</b>	<b>homogin</b>		<b>membrane</b>
Metode konstruksi	Pelaksanaan konstruksi secara cepat tidak menguntungkan, terjadi peningkatan tekanan pori. Namun, pelaksanaan konstruksi adalah sederhana, karena material homogen.	Harus dipilih cara konstruksi yang paling tepat untuk setiap zona. Kecepatan konstruksi pada setiap zona harus dilaksanakan dengan perbedaan yang sekecil mungkin.	Pelaksanaan konstruksi dapat dilakukan dengan cepat.
Lain-lain	-	-	Bocoran bisa besar



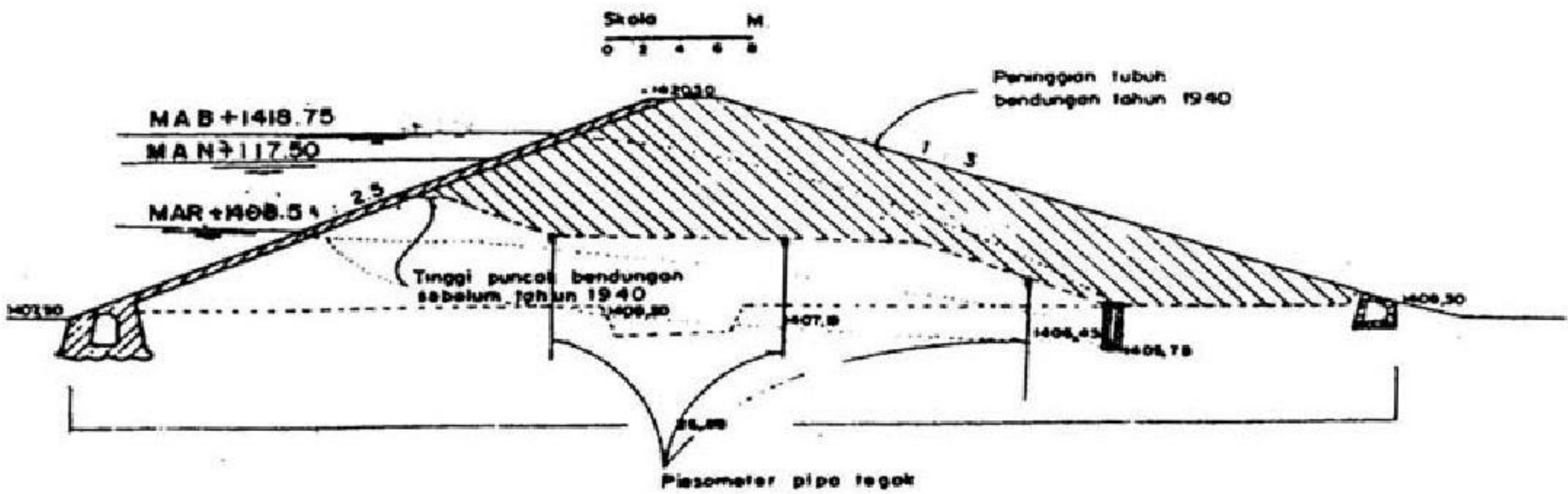


Lampiran A  
(Informatif)

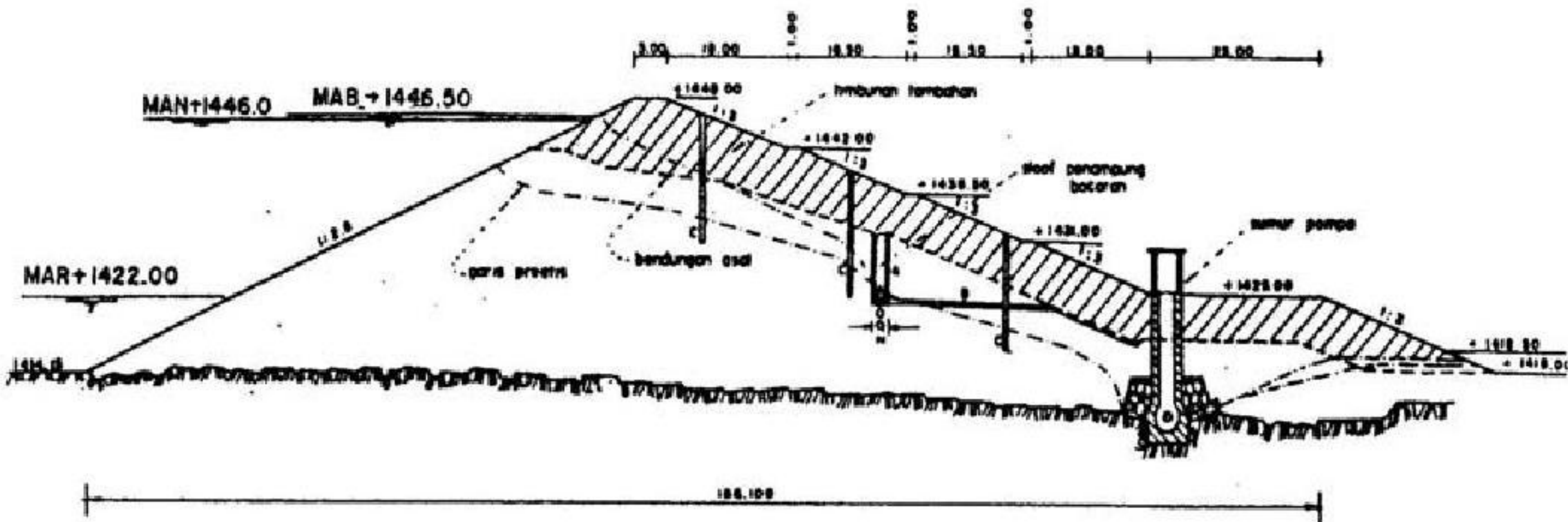
Contoh-contoh bendungan tipe urugan homogen



Gambar A. 1 - Bendungan Pongkor, Jawa Barat

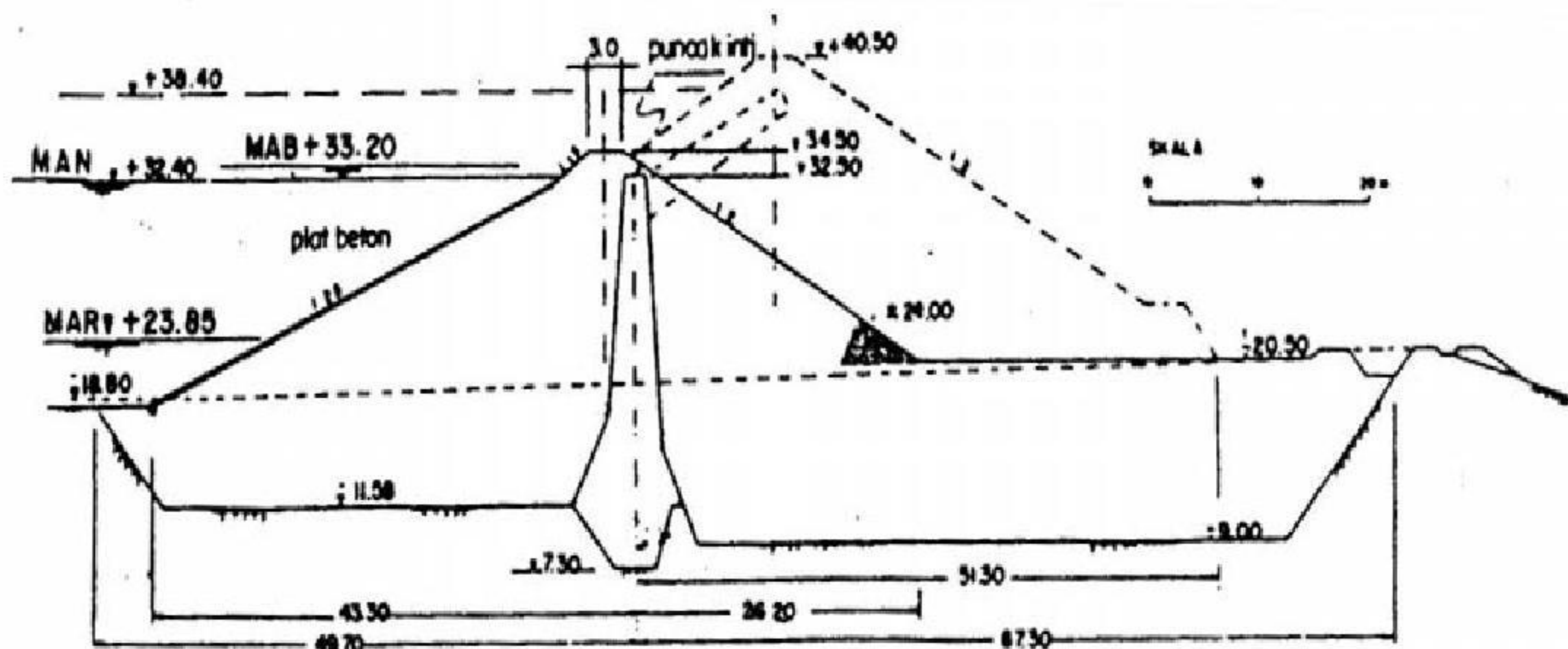


Gambar A.2 - Bendungan Cileunca, Jawa Barat

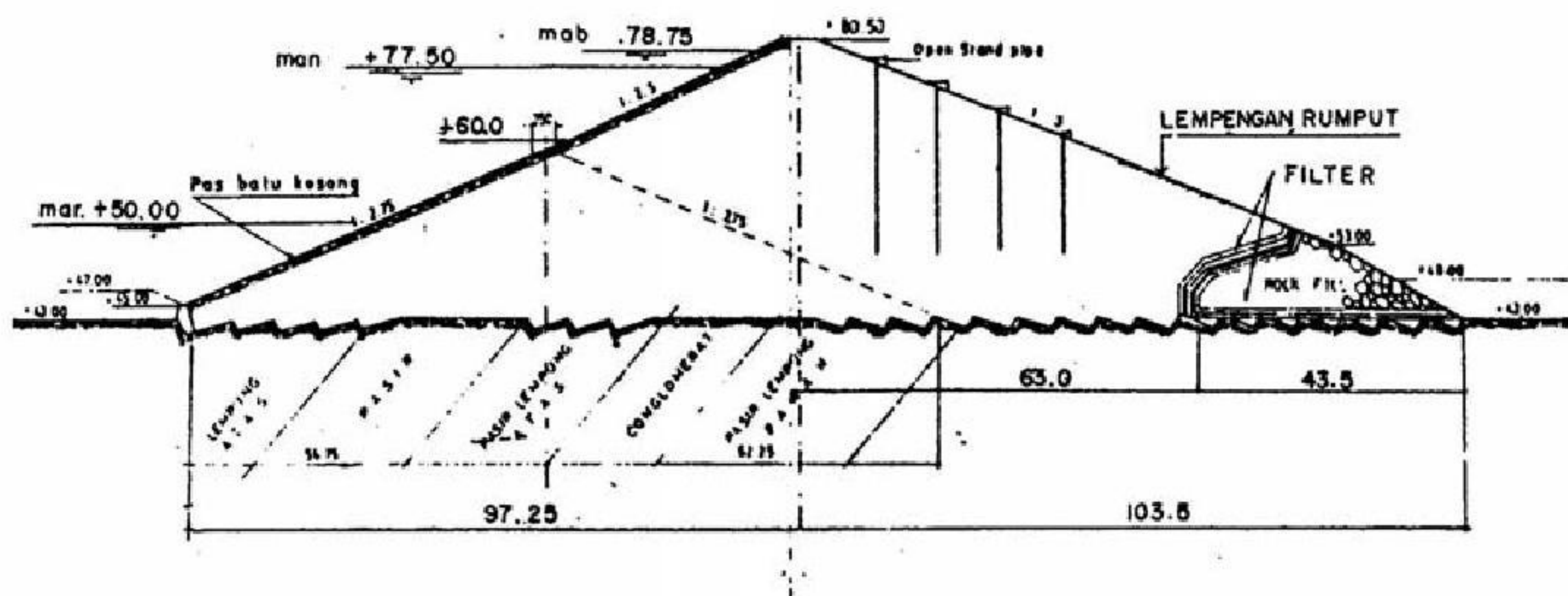


Gambar A.3 - Bendungan Cipaneunjang, Jawa Barat

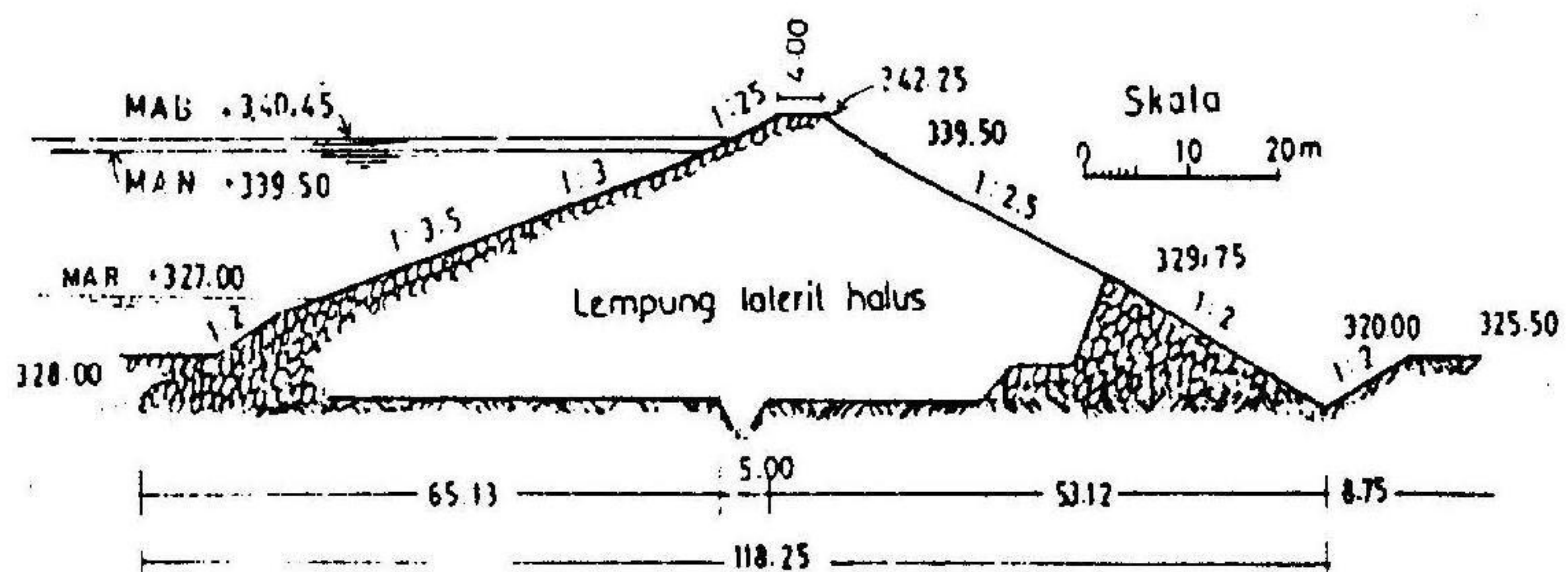




Gambar A.4 - Bendungan Situpatok, Jawa Barat

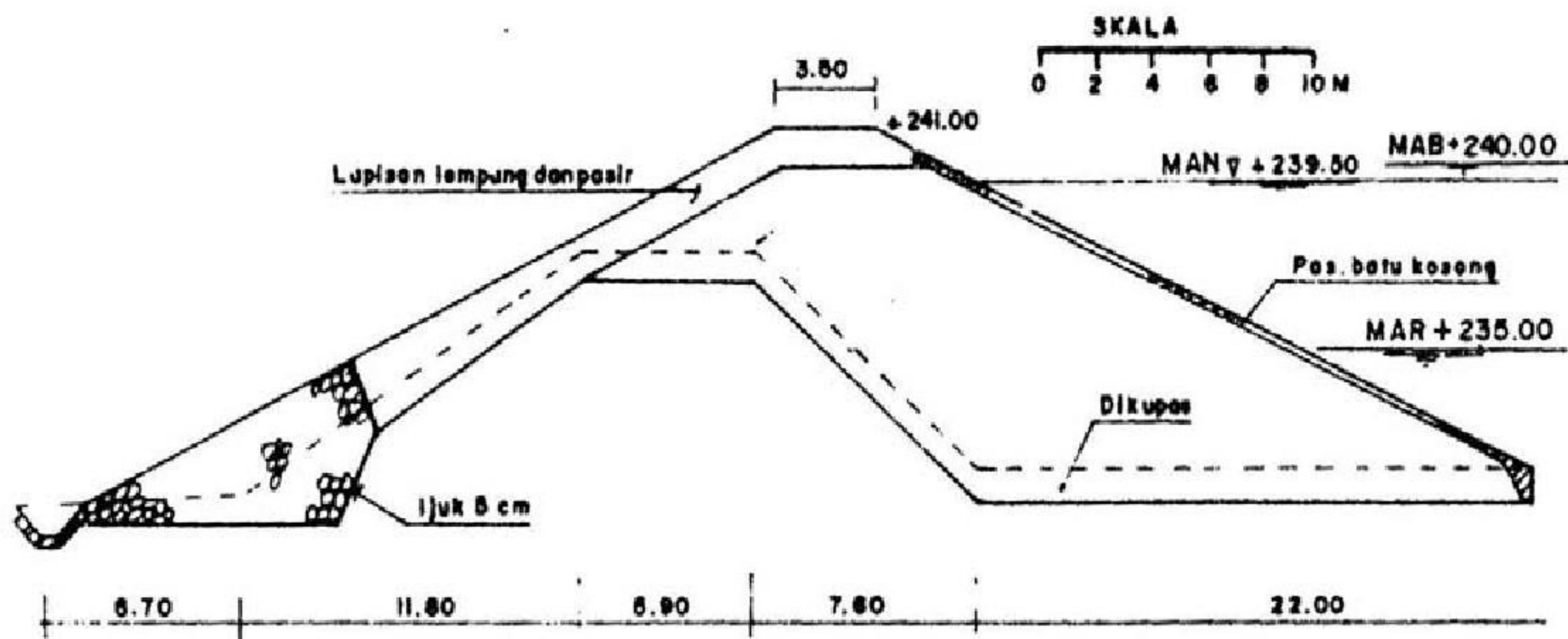


Gambar A.5 - Bendungan Cacaban, Jawa Tengah

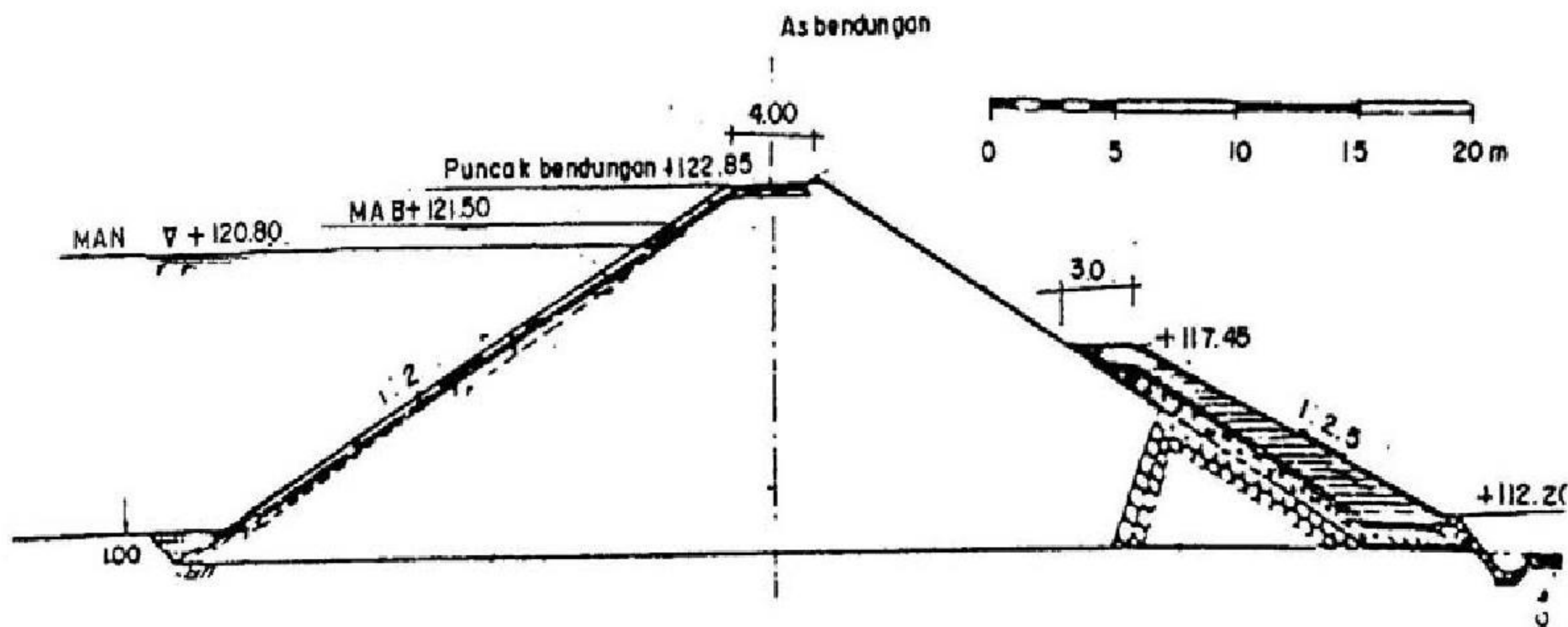


Gambar A.6 - Bendungan Penjalin, Jawa Tengah

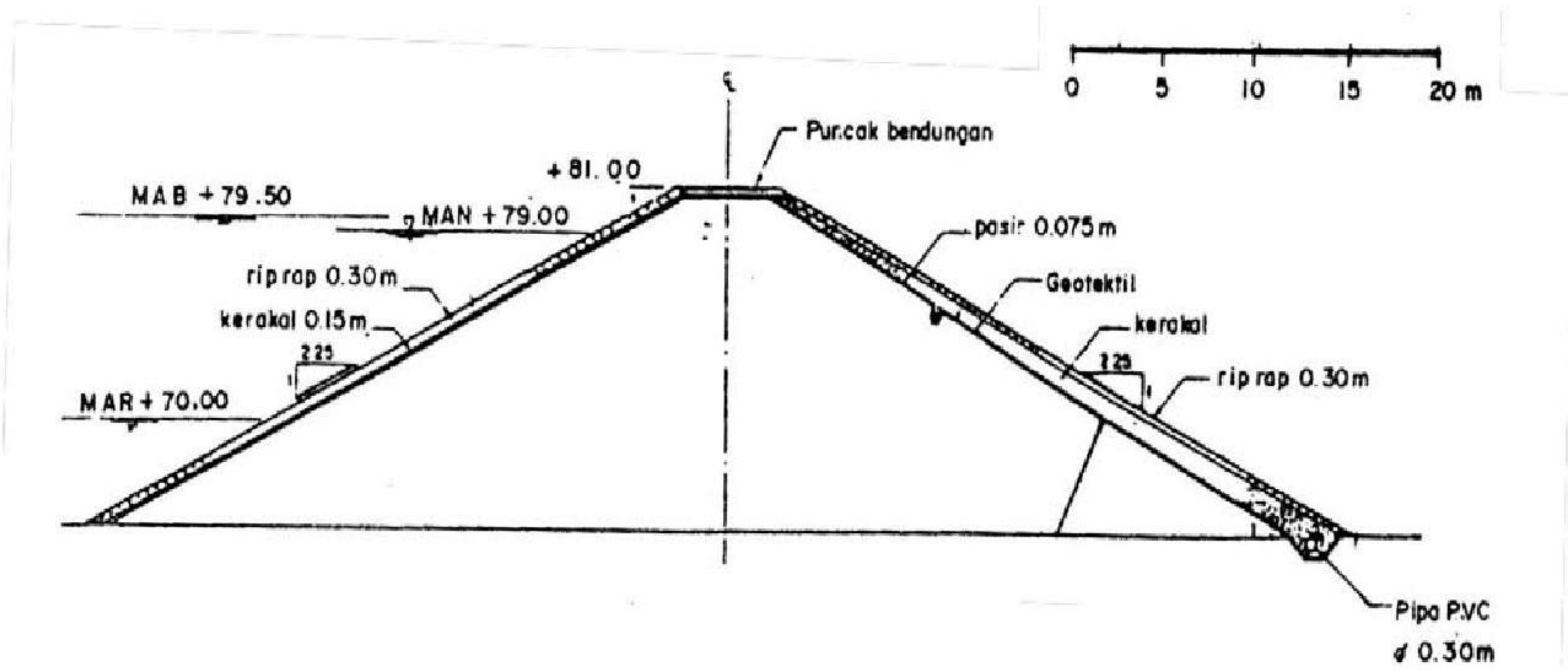




Gambar A.7 - Bendungan Klego, Jawa Tengah

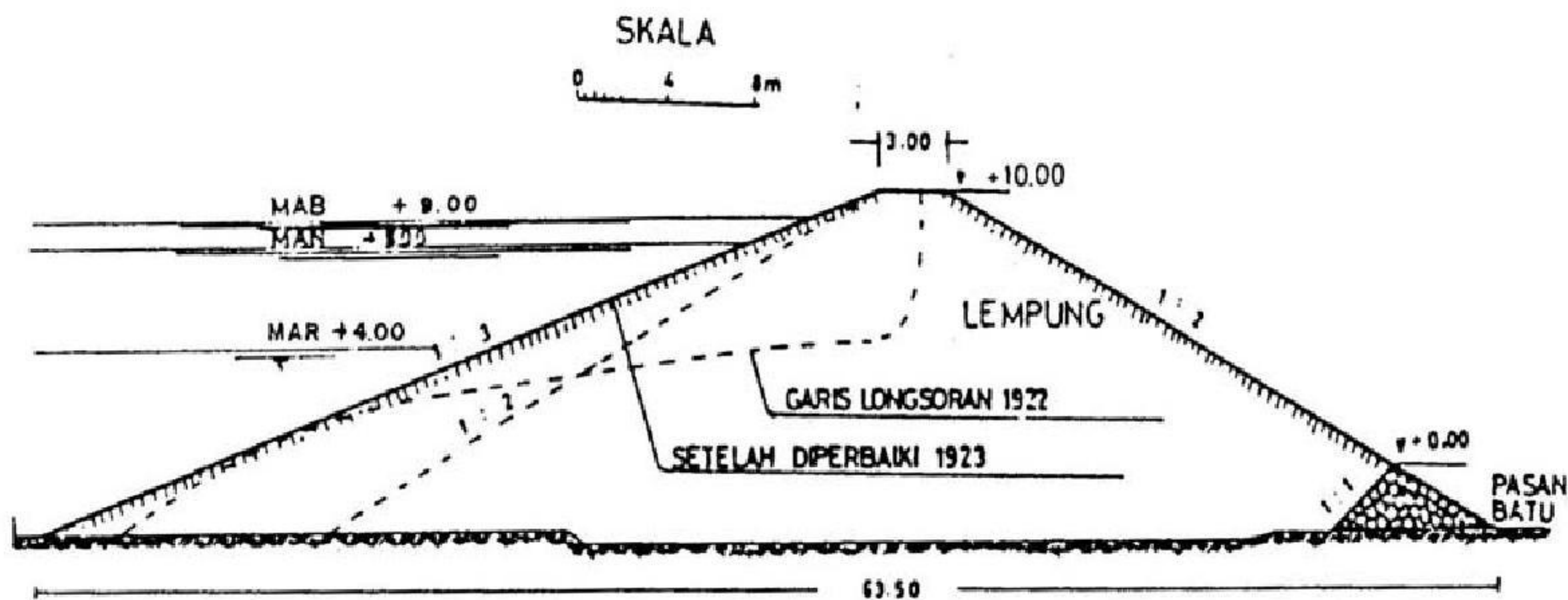


Gambar A.8 - Bendungan Greneng, Jawa Tengah

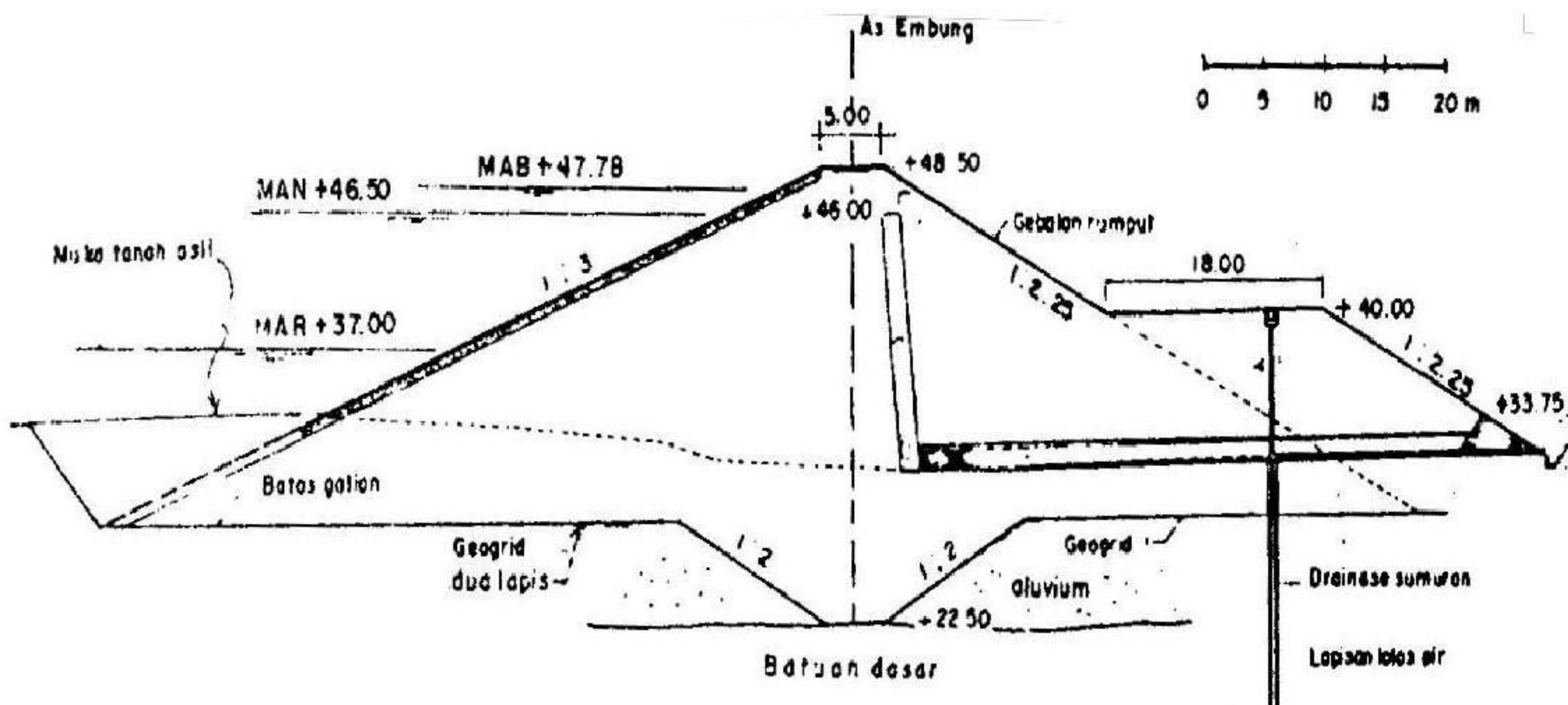


Gambar A.9 - Bendungan Nglangon, Jawa Tengah

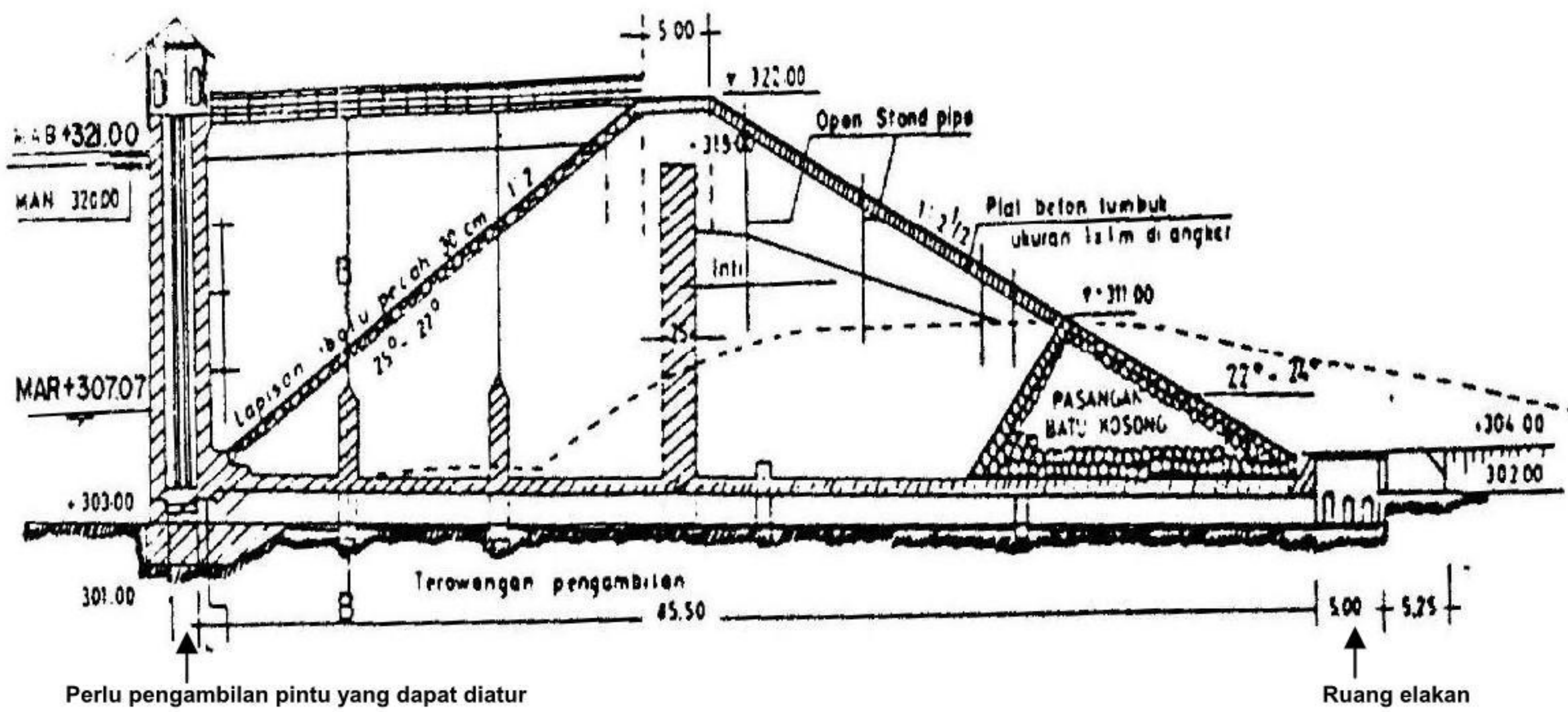




Gambar A.10 - Bendungan Tempuran, Jawa Tengah

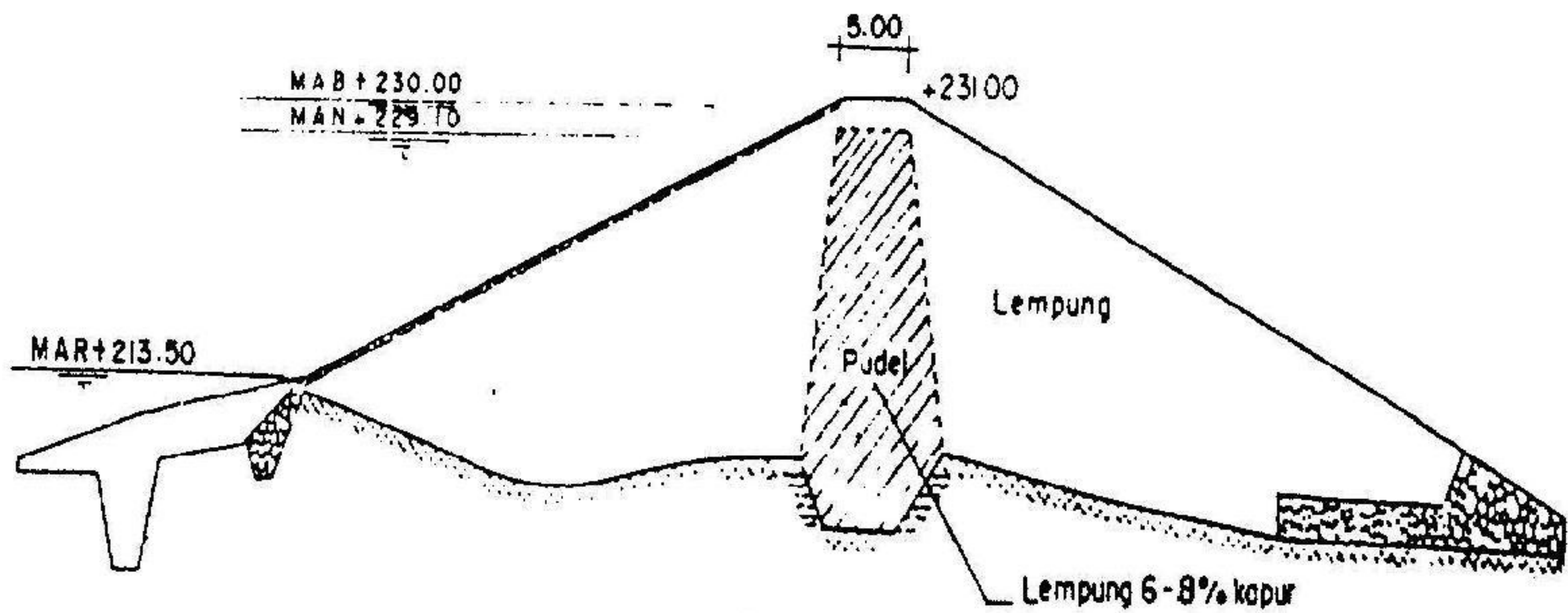


Gambar A.11 - Bendungan Lodan, Jawa Tengah

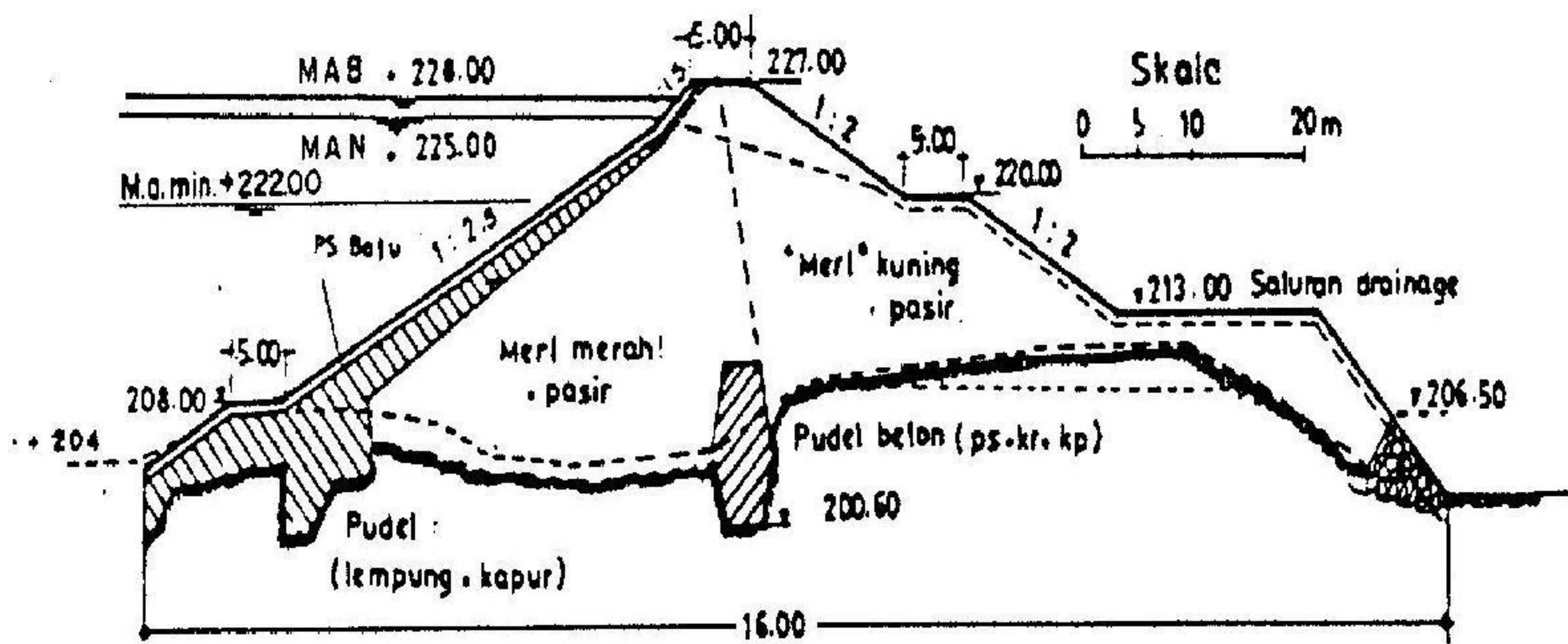


Gambar A.12 - Bendungan Gunung, Rowo Jawa

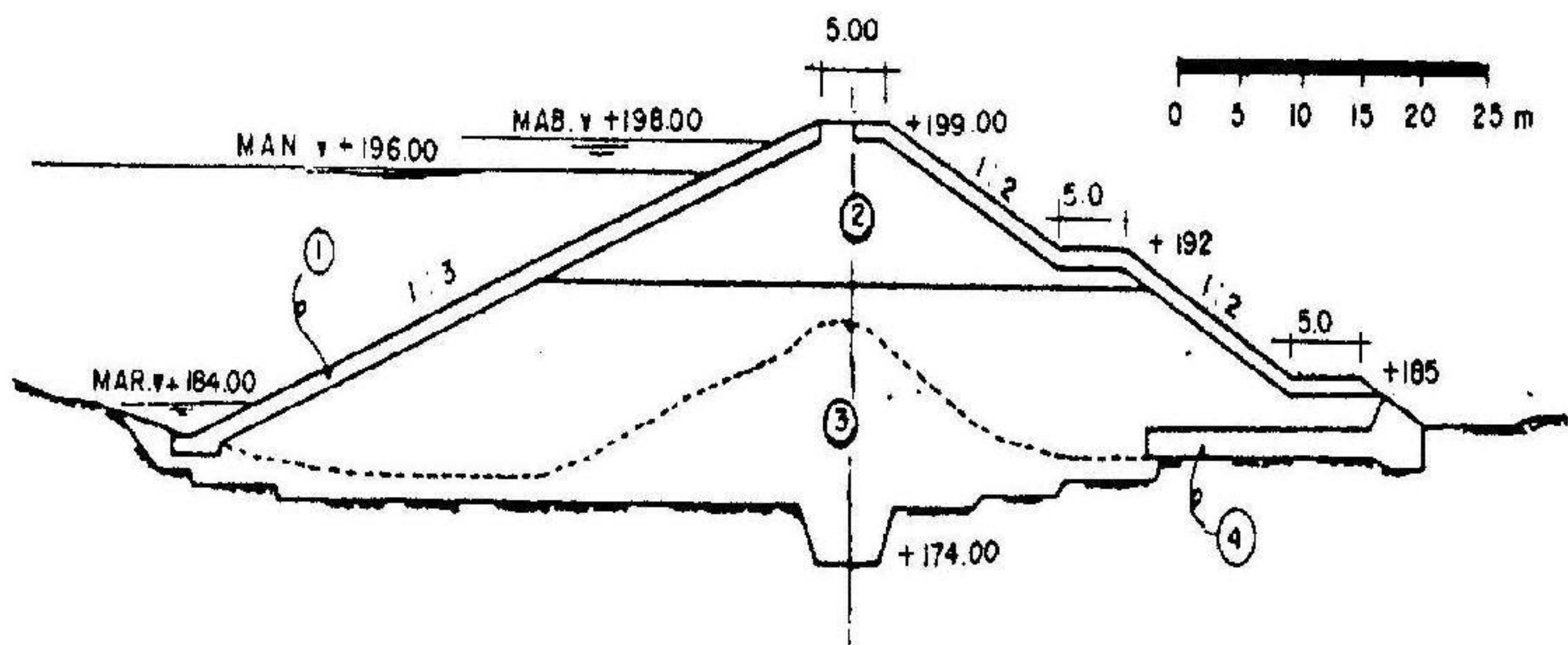




Gambar A.13 - Bendungan Nawangan, Jawa Tengah

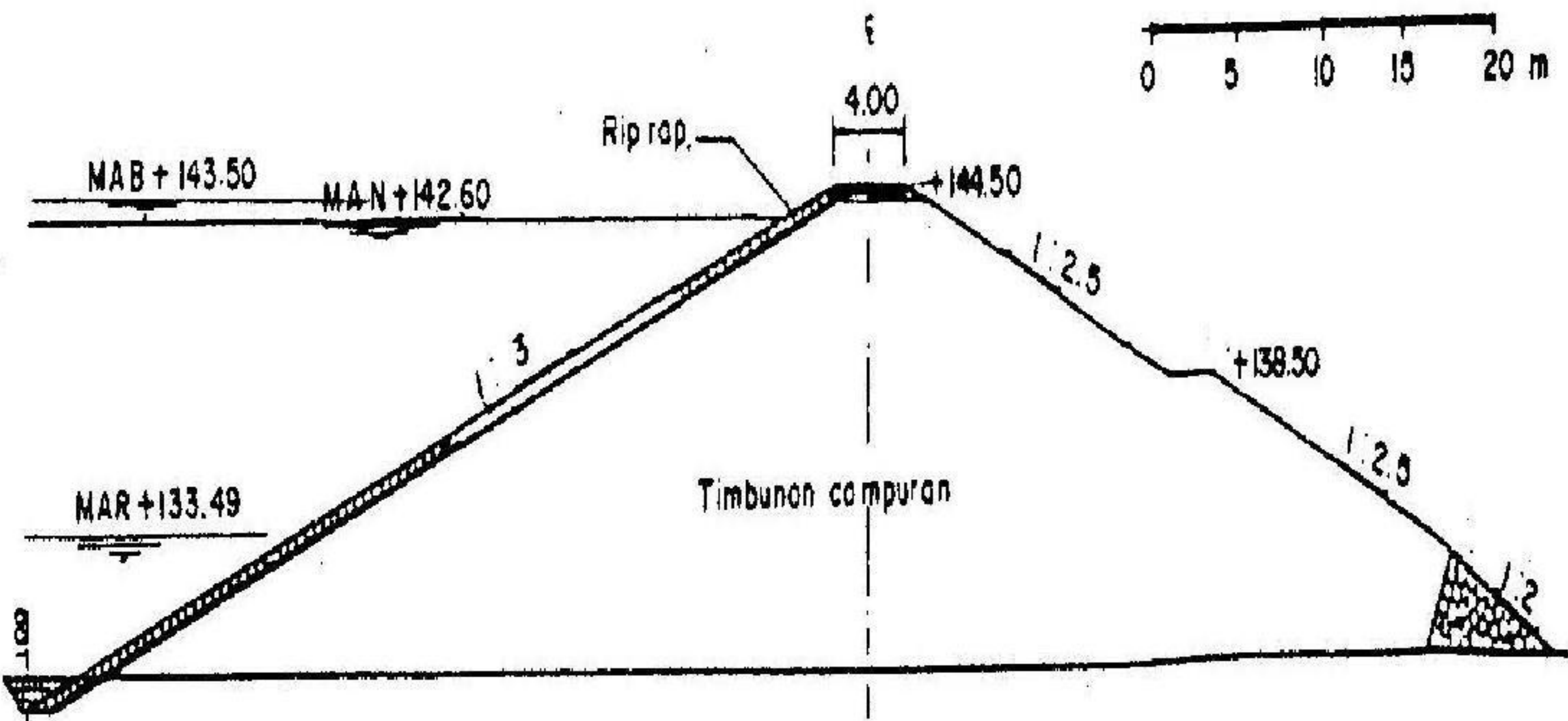


Gambar A.14 - Bendungan Plumbon, Jawa Tengah

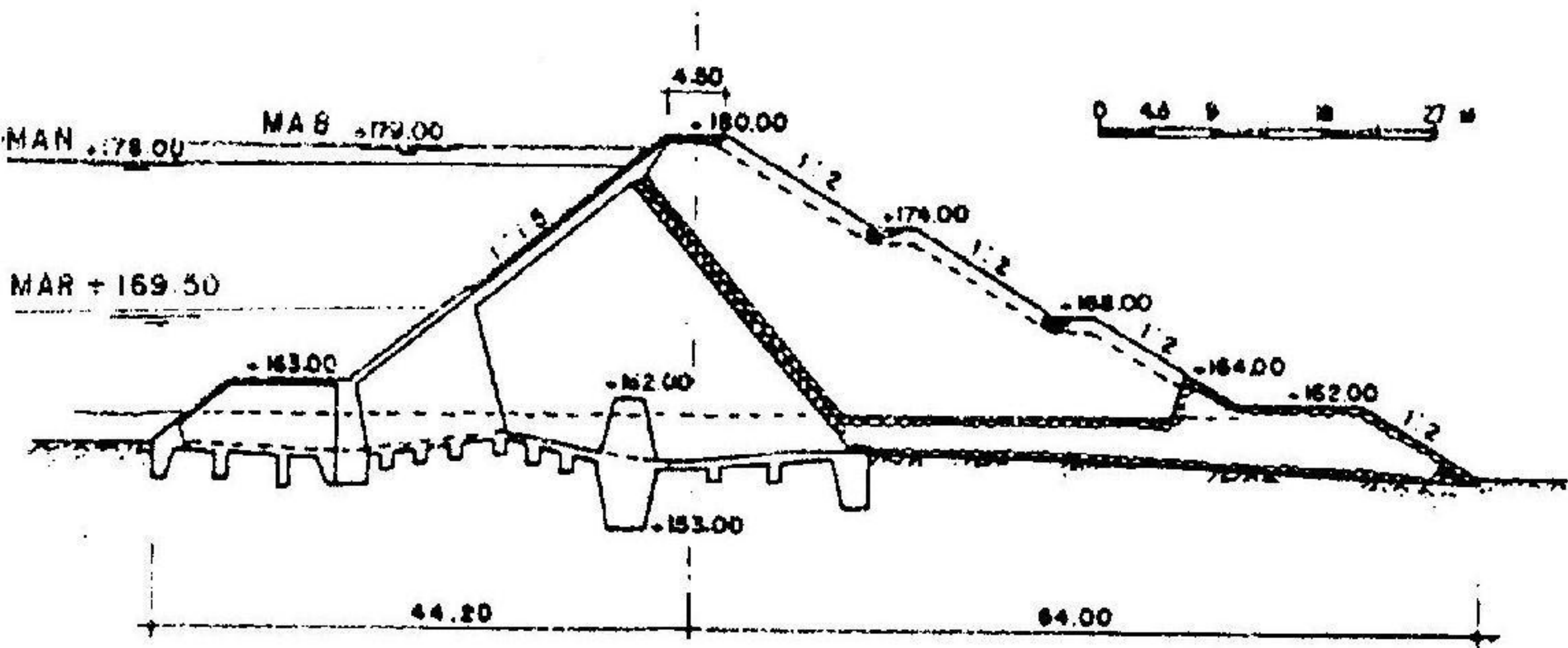


Gambar A.15 - Bendungan Parangjoho, Jawa Tengah

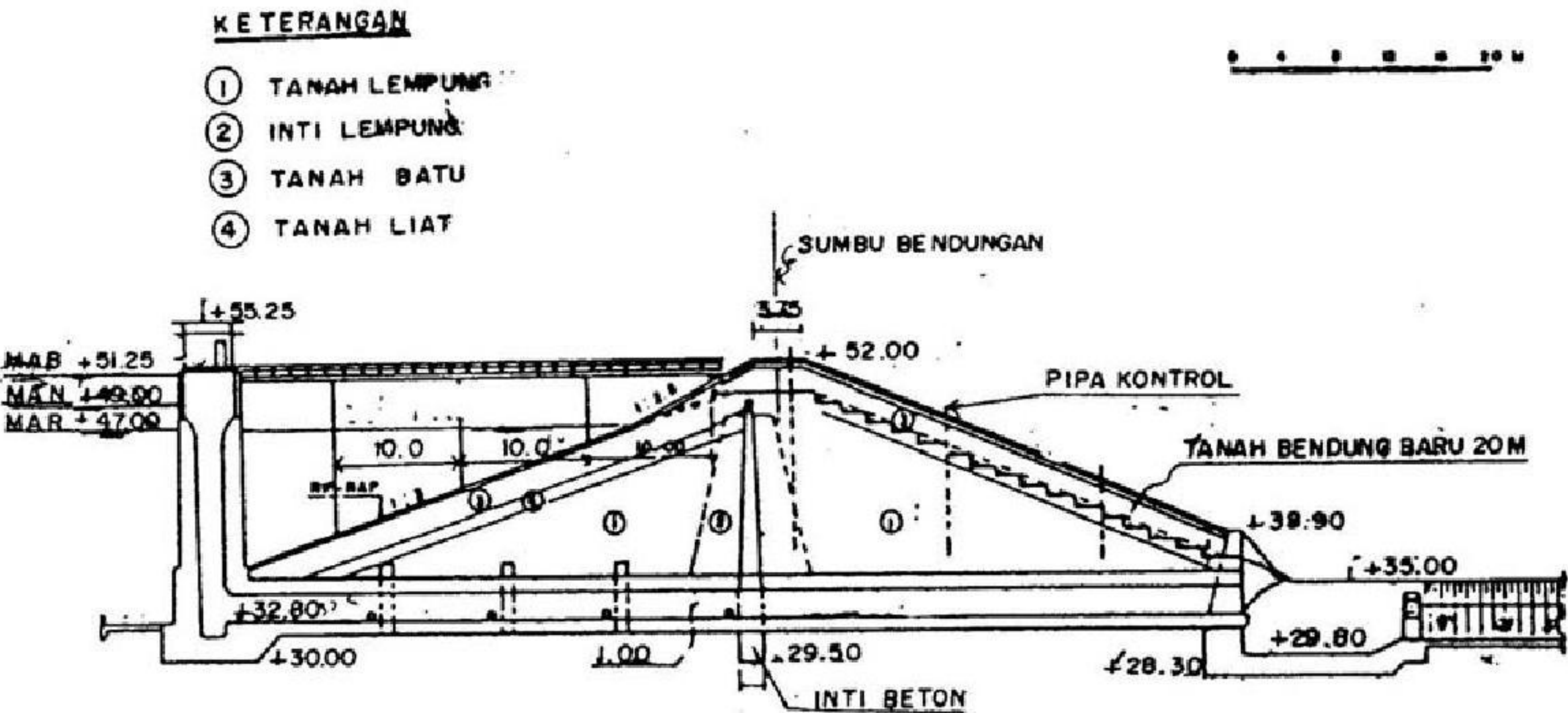




Gambar A.16 - Bendungan Cengklik, Jawa Tengah

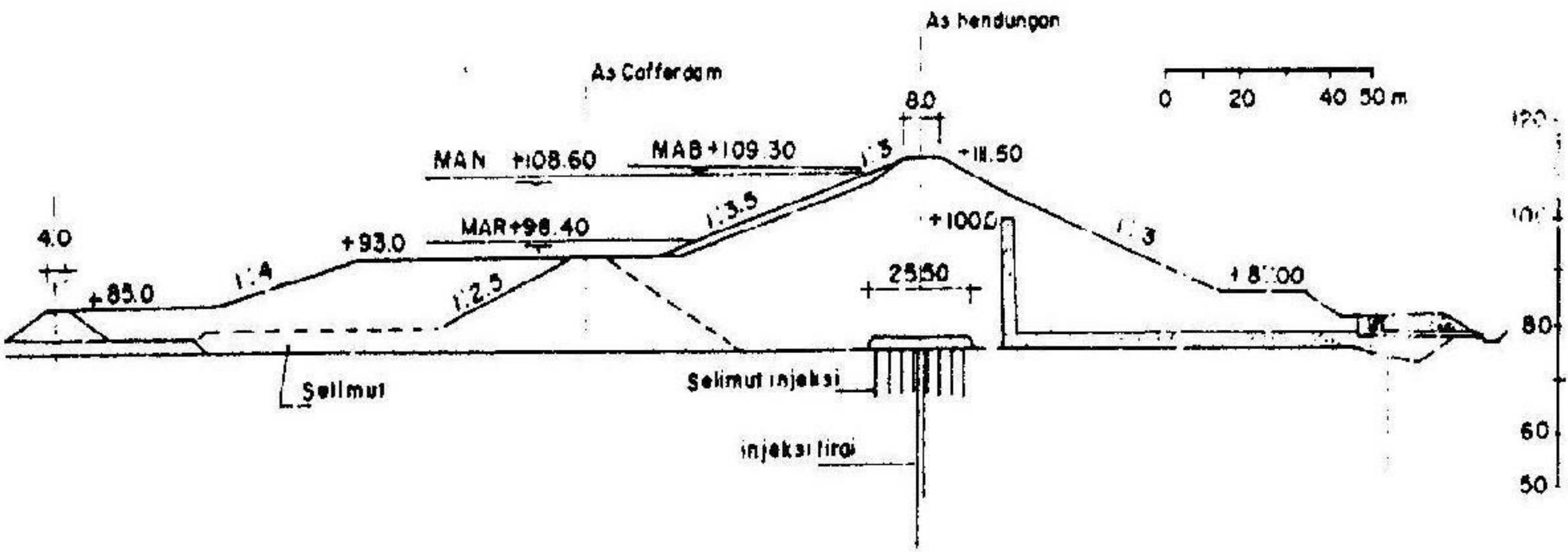


Gambar A.17 - Bendungan Delingan, Jawa Tengah

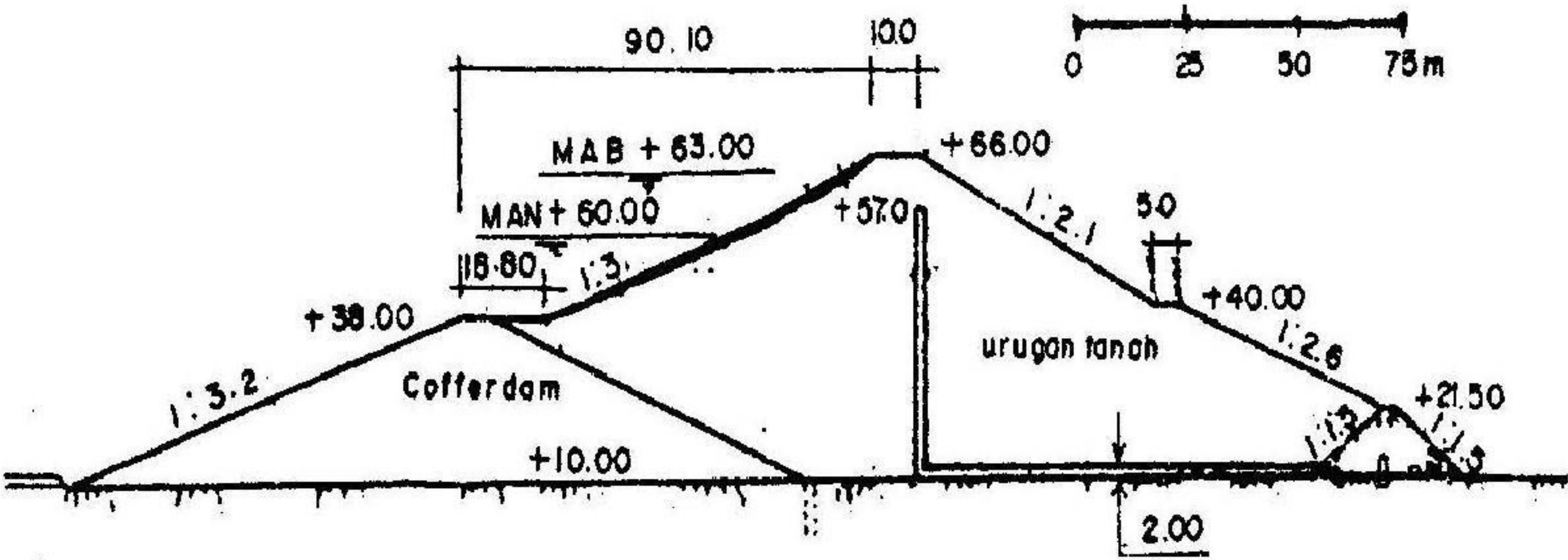


Gambar A.18 - Bendungan Prijetan, Jawa Timur

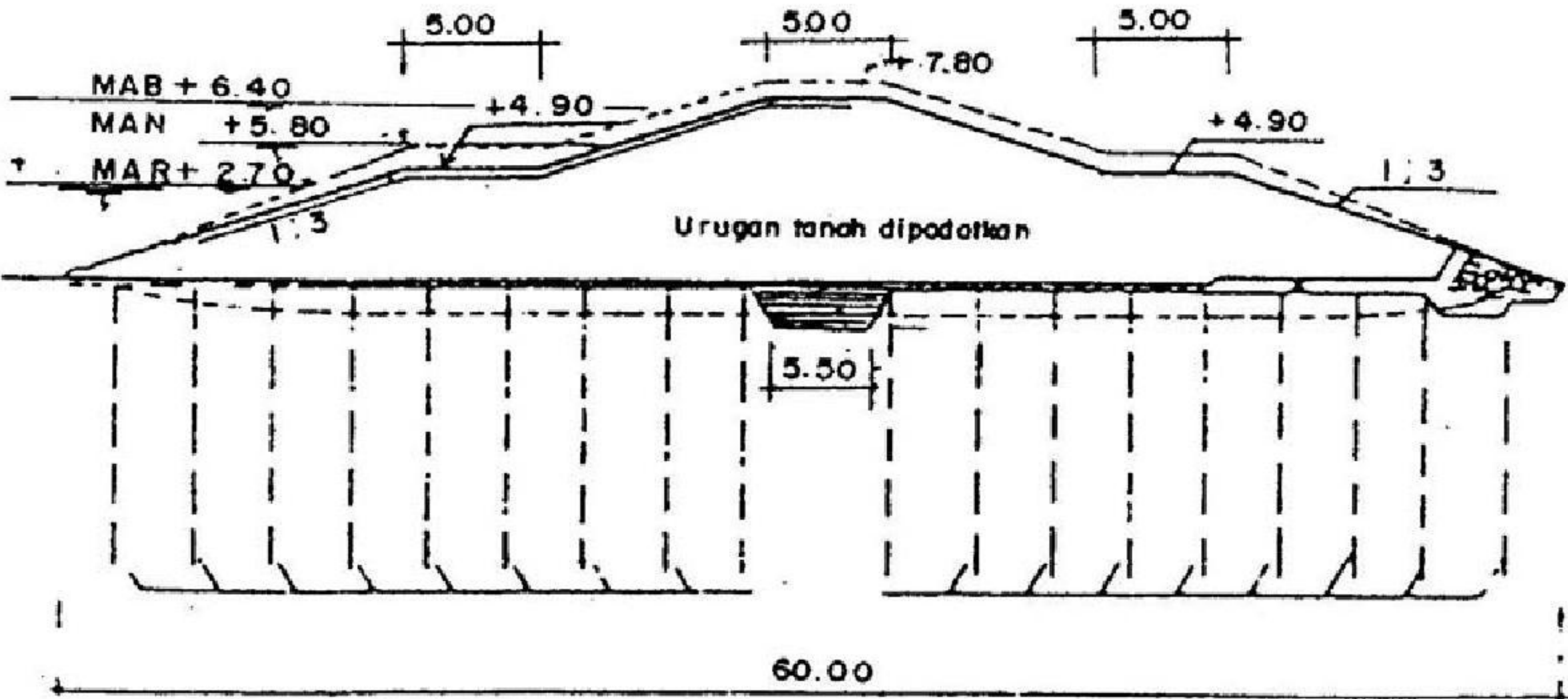




Gambar A.19 - Bendungan Bening, Jawa Timur

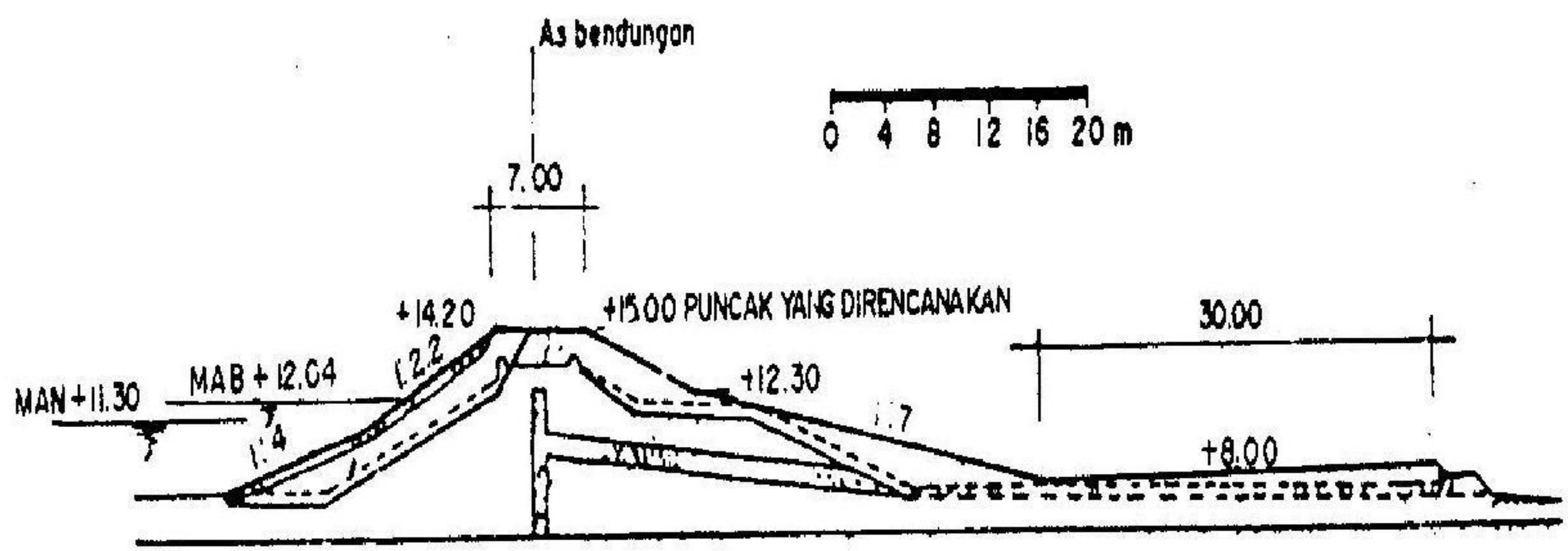


Gambar A.20 - Bendungan Riam, Kanan Kalimantan

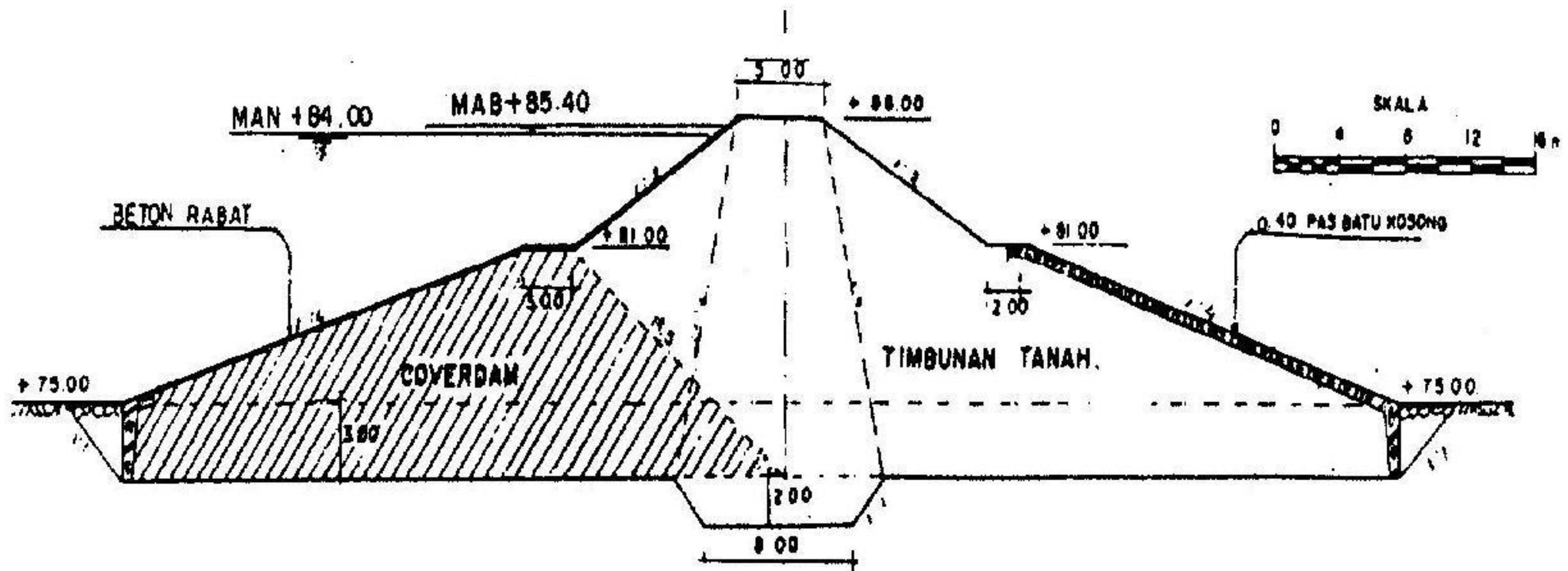


Gambar A.21 - Bendungan Manggar, Kalimantan

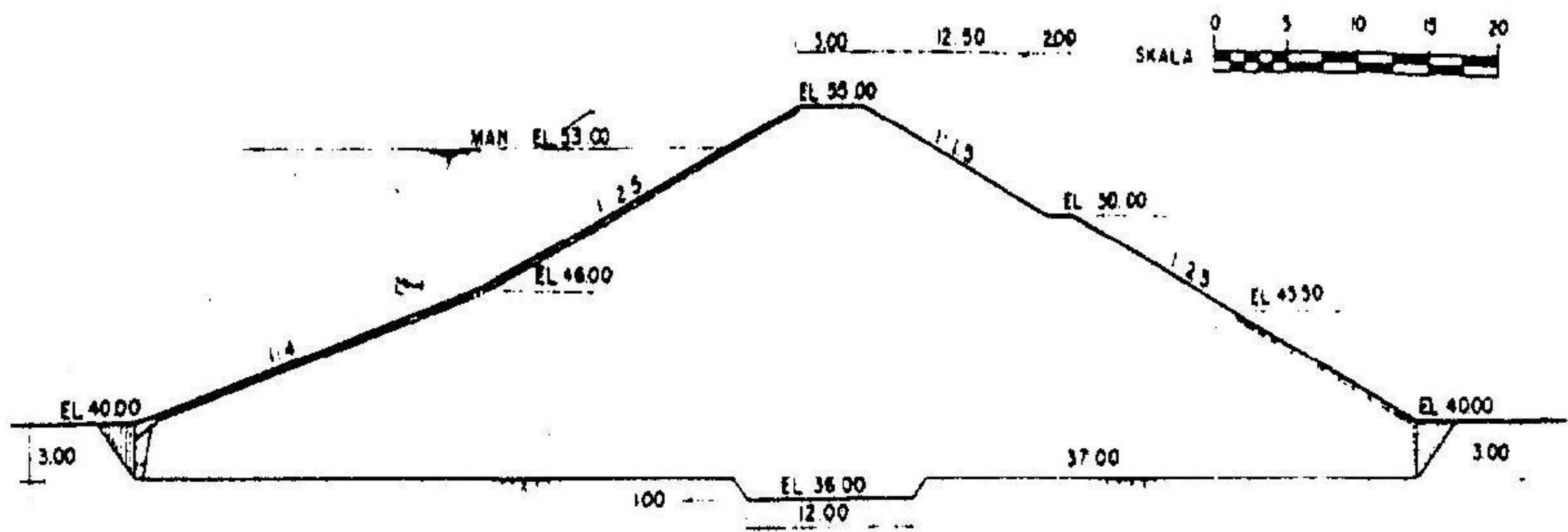




Gambar A.22 - Bendungan Samboja, Kalimantan

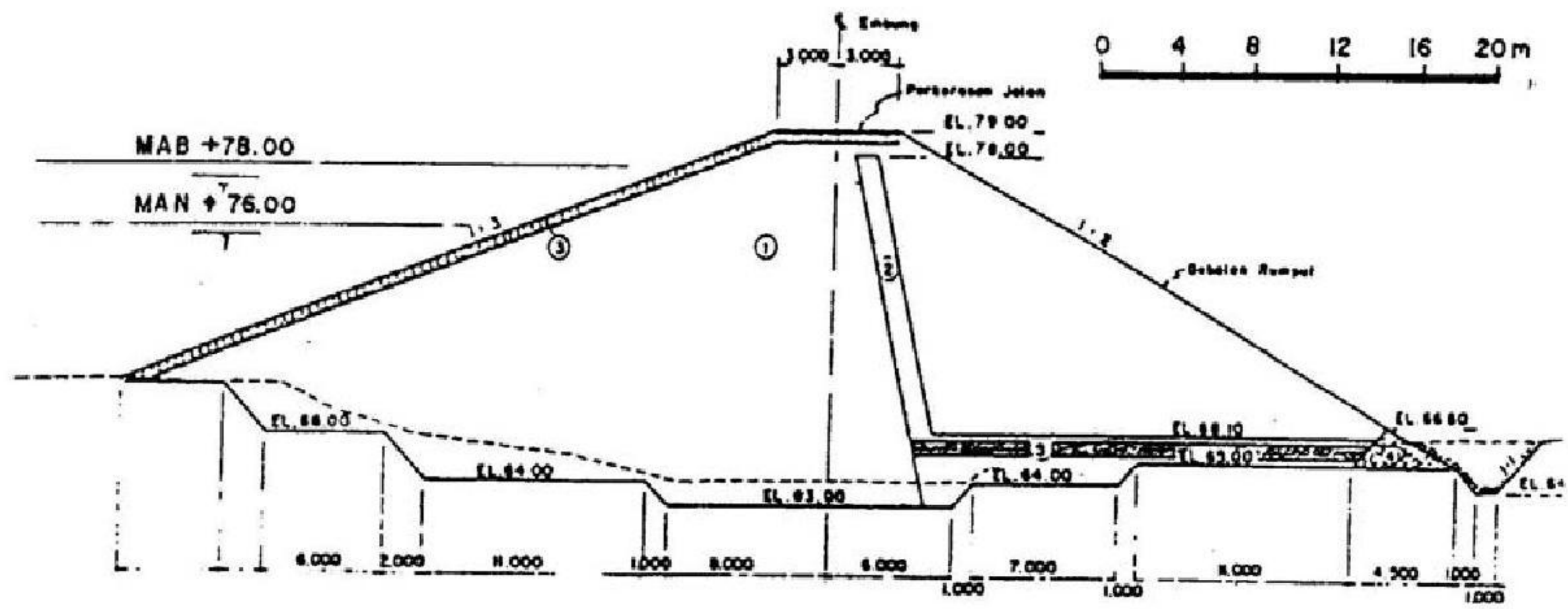


Gambar A.23 - Bendungan Sepayung Dalam, Sumbawa

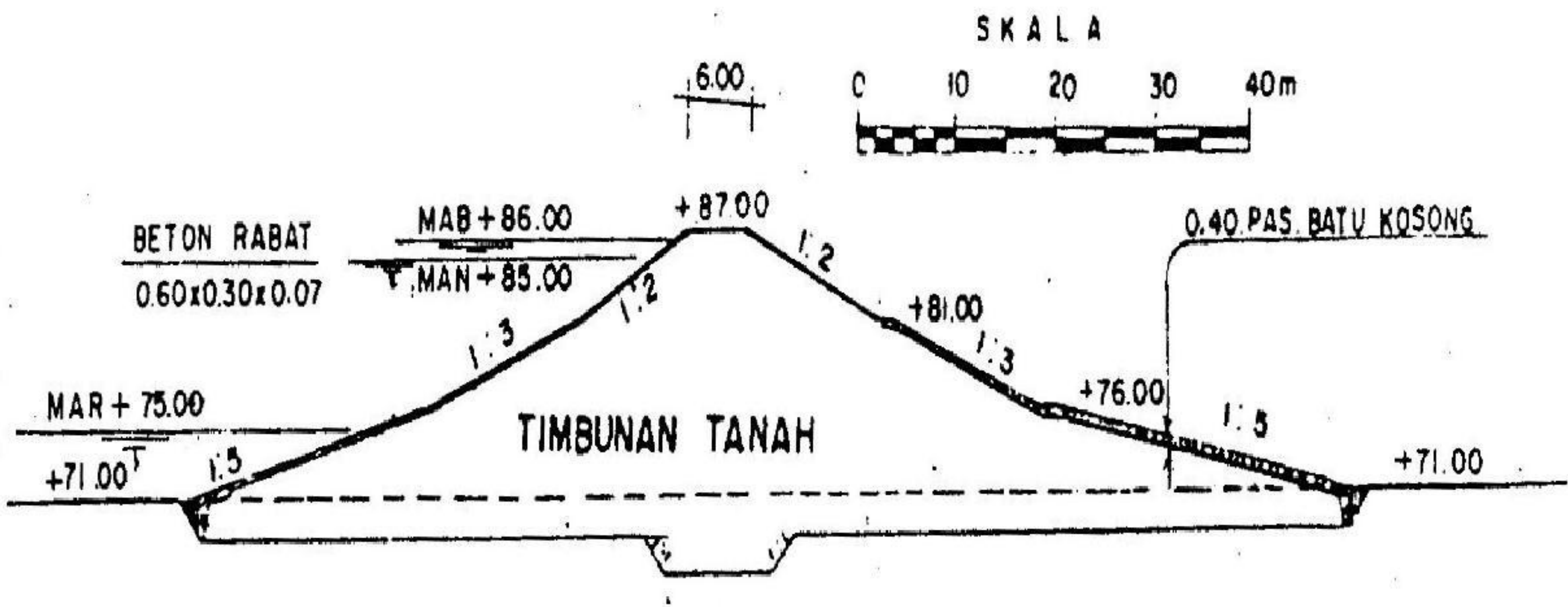


Gambar A.24 - Bendungan Selante, Sumbawa

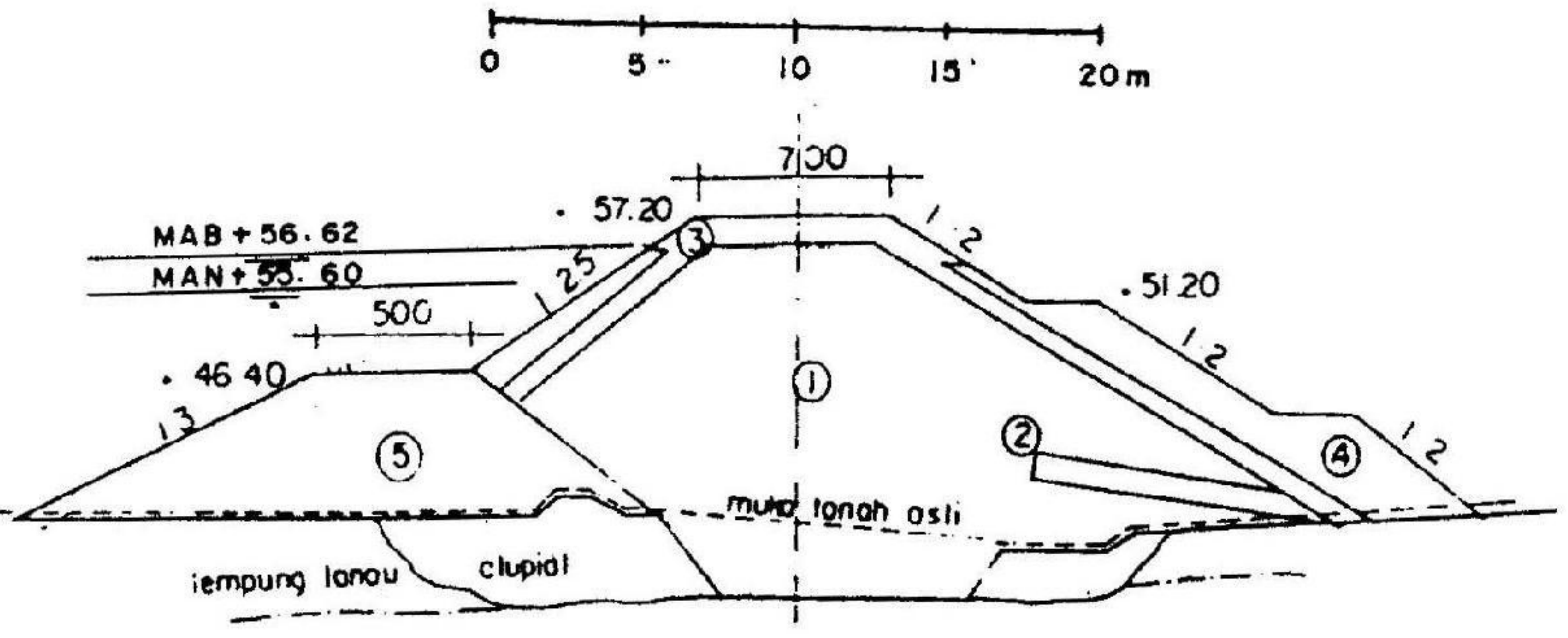




Gambar A.25 - Bendungan Ncera, Sumbawa



Gambar A.26 - Bendungan Lamenta, Sumbawa



Gambar A.27 - Bendungan Batu Bokah



**Tabel A1 – Data bendungan tipe  
urugan homogen di Indonesia**

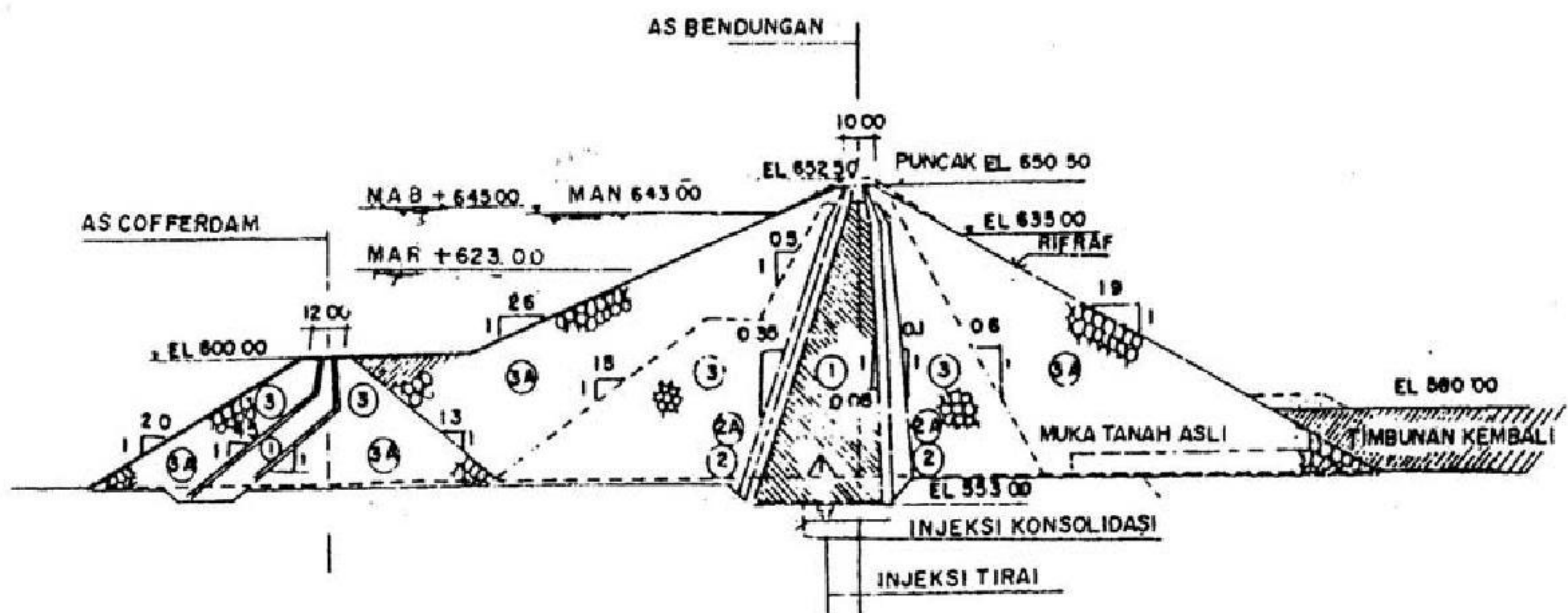
No.	Bendungan	Prop.	Kapasitas Waduk (m <sup>3</sup> )	El.Mab (m)	El.Man (m)	El. Puncak (m)	Lebar Puncak (m)	Jagaan Mab (m)	Jagaan Man (m)	Tinggi (m)	Jagaan minimum (m)	Zona	Selesai (Thn)
1	Pongkor	Jabar	1.83	511.00	510.00	513.00	10.00	2.00	3.00	34.00		D	1995
2	Cileunca	Jabar	11.50	1418.75	1417.50	1420.50	4.00	1.75	3.00	15.00		D	1924
3	Cipaneunjang	Jabar	22.40	1446.50	1446.00	1448.00	5.00	1.50	2.00	32.00		D	1930
4	Situpatok	Jabar	14.00	33.20	32.40	34.50	3.00	1.30	2.10	16.20		D	1927
5	Cacaban	Jateng	90.00	78.75	77.50	80.50	6.00	1.75	3.00	37.50		C	1958
6	Penjalin	Jateng	9.50	340.45	339.50	342.25	4.00	1.80	2.75	18.00		C	1934
7	Klego	Jateng	2.74	240.00	239.50	241.00	4.00	1.00	1.50	10.40		C	1943
8	Greneng	Jateng	2.30	121.50	120.80	122.85	3.00	1.35	2.05	10.50		C	1919
9	Nglangon	Jateng	2.18	79.50	79.00	81.00	4.50	1.50	2.00	14.80		C	1914
10	Tempuran	Jateng	2.14	9.00	8.00	10.00	3.00	1.00	2.00	17.80		C	1916
11	Lodan Wetan	Jateng	5.05	47.78	46.50	48.50	5.00	0.72	2.00	19.50		C	1995
12	Gunung Rowo	Jateng	5.16	321.00	320	322.00	5.00	1.00	2.00	19.00		B	1925
13	Nawangan	Jateng	0.80	230.00	229.10	231.00	5.00	1.00	1.90	21.00		D	1976
14	Plumbon	Jateng	1.05	226.00	225.00	227.00	5.00	1.00	2.00	23.00		D	1928
15	Parangjoho	Jateng	1.76	198.00	196.00	199.00	5.00	1.00	3.00	20.00		D	1980
16	Cengklik	Jateng	9.77	143.50	142.60	144.50	4.00	1.00	1.90	14.50		C	1931
17	Delingan	Jateng	3.27	179.00	178.00	180.00	4.50	1.00	2.00	23.00		C	1923
18	Prijetan	Jatim	12.10	51.25	49.00	52.00	3.75	0.75	3.00	20.60		C	1916
19	Bening	Jatim	33.00	109.30	108.60	111.60	8.00	2.30	3.00	31.60		C	1984
20	Riam Kanan	Kalsel	1200.00	63.00	60.00	66.00	10.00	3.00	6.00	56.00		B	1973
21	Manggar	Kaltim	3.30	6.40	5.80	7.80	9.45	1.40	2.00	7.30		B	1980
22	Samboja	Kaltim	3.72	12.04	11.30	14.30	7.00	2.26	3.00	5.60		B	1979
23	Batu Bokah	Lombok	1.50	56.62	55.60	57.20	7.00	0.58	1.60	20.70		D	1994
24	Selante	Sumbawa	0.52		53.00	55.00	5.00		2.00	15.00		C	1995
25	Sepayung Dalam	Sumbawa	1.60	85.40	84.00	86.00	4.00	0.60	2.00	11.00		C	1994
26	Ncera	Sumbawa	0.43	78.00	76.00	79.00	5.00	1.00	3.00	14.50		D	1995
27	Lamenta	Sumbawa	0.89	86.00	85.00	87.00	6.00	1.00	2.00	16.00		C	1991

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

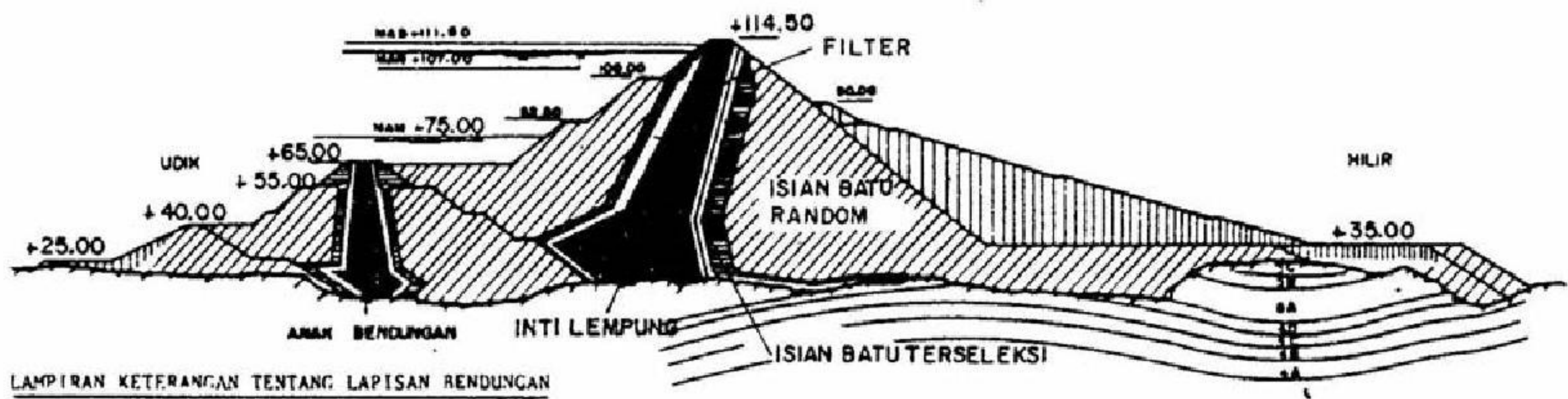


Lampiran B  
(Informatif)

Contoh-contoh bendungan tipe urugan zonal



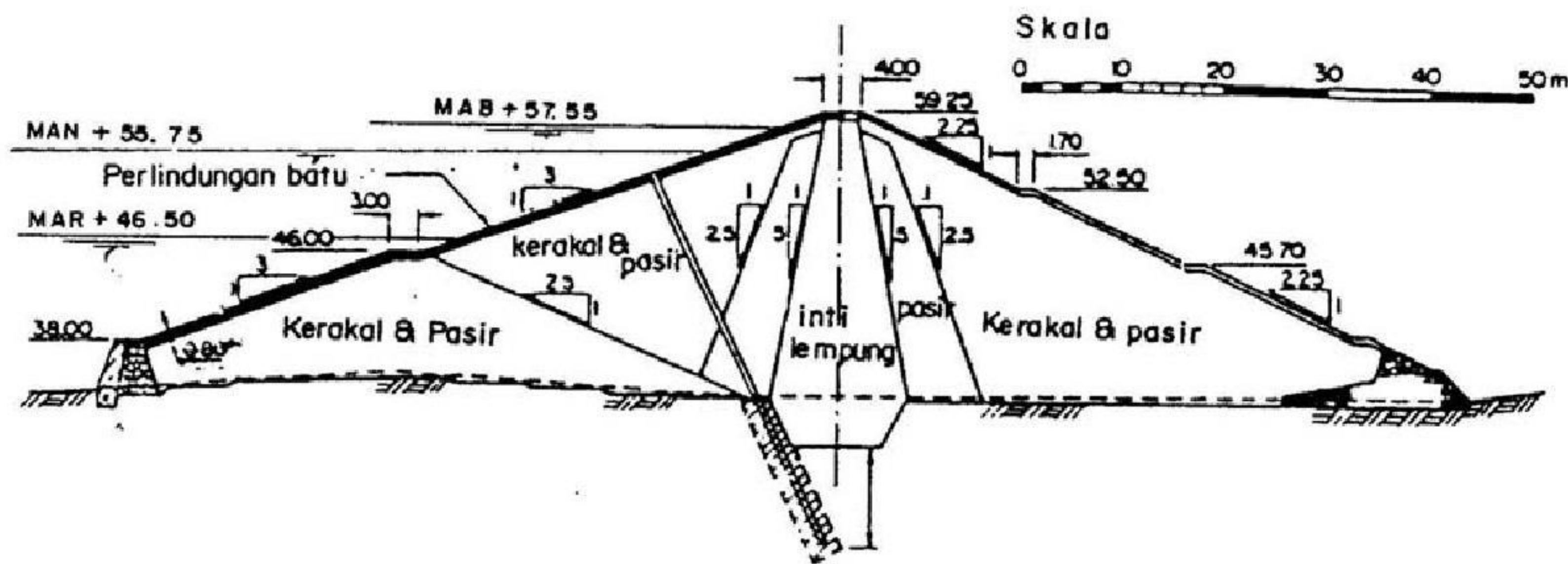
Gambar B.1 - Bendungan Saguling, Jawa Barat



LAMPIRAN KETERANGAN TENTANG LAPISAN BENDUNGAN

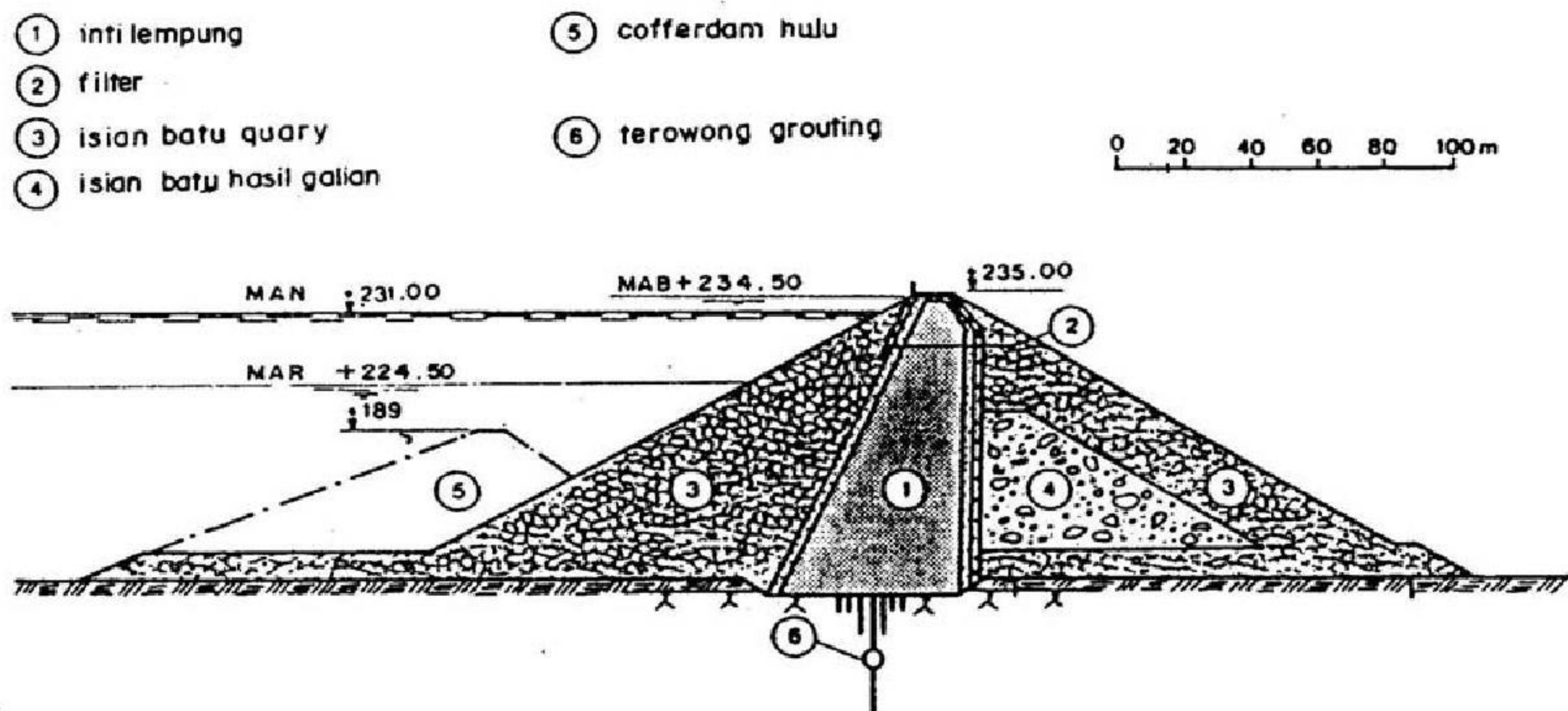
- 5 C = Batu lempung, kekerasan sedang, berbentuk blok, abu-abu tua.
- 5 B = Batu pasir, komak, sedikit gamping, tersemen baik, abu-abu muda.
- 5 A = Batu lempung, kekerasan sedang, sedikit gamping dengan lensa-lensa batu gamping, berbongkah, abu-abu tua.
- 4 D = Batu kapur, berlapis dengan batu lempung nasiran, kekerasan sedang.
- 4 C = Batu pasir, berbutir halus, tersemen baik, sedikit gamping, abu-abu muda sampai sedang.
- 4 B = Batu lempung nasiran, kekerasan sedang, sedikit gamping, sedikit retak, abu-abu tua.
- 4 A = Batu pasir berbutir halus, tersemen buruk, sedikit gamping, abu-abu muda sampai sedang.

Gambar B.2 - Bendungan Juanda, Jawa Barat

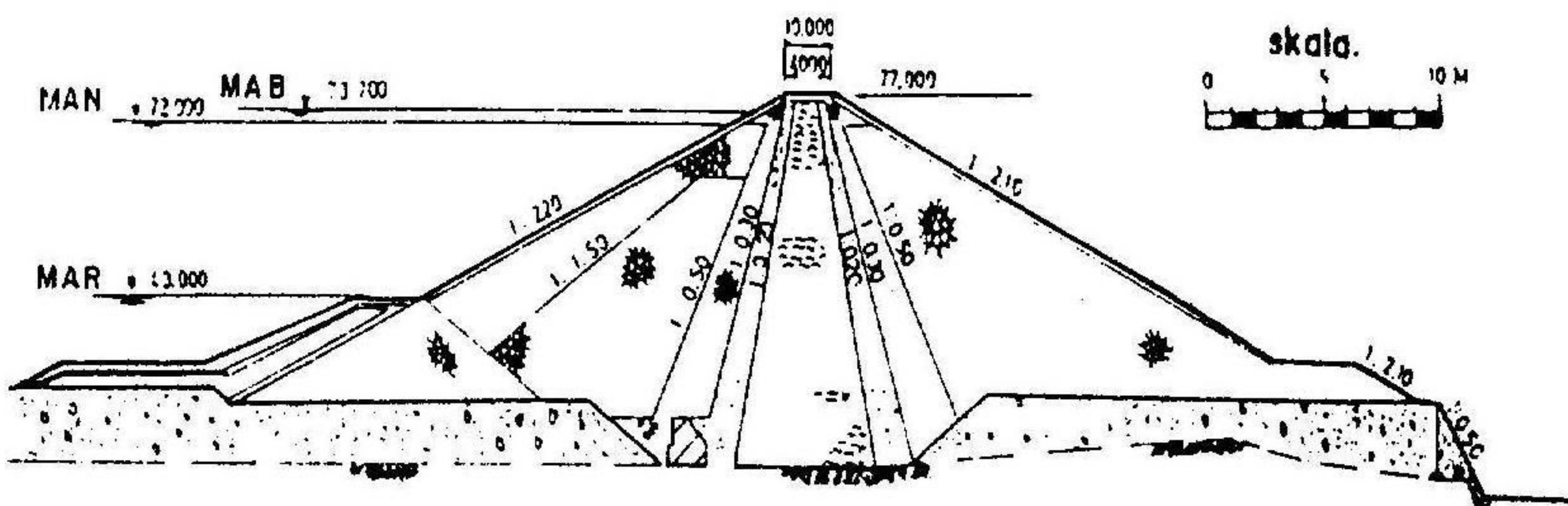




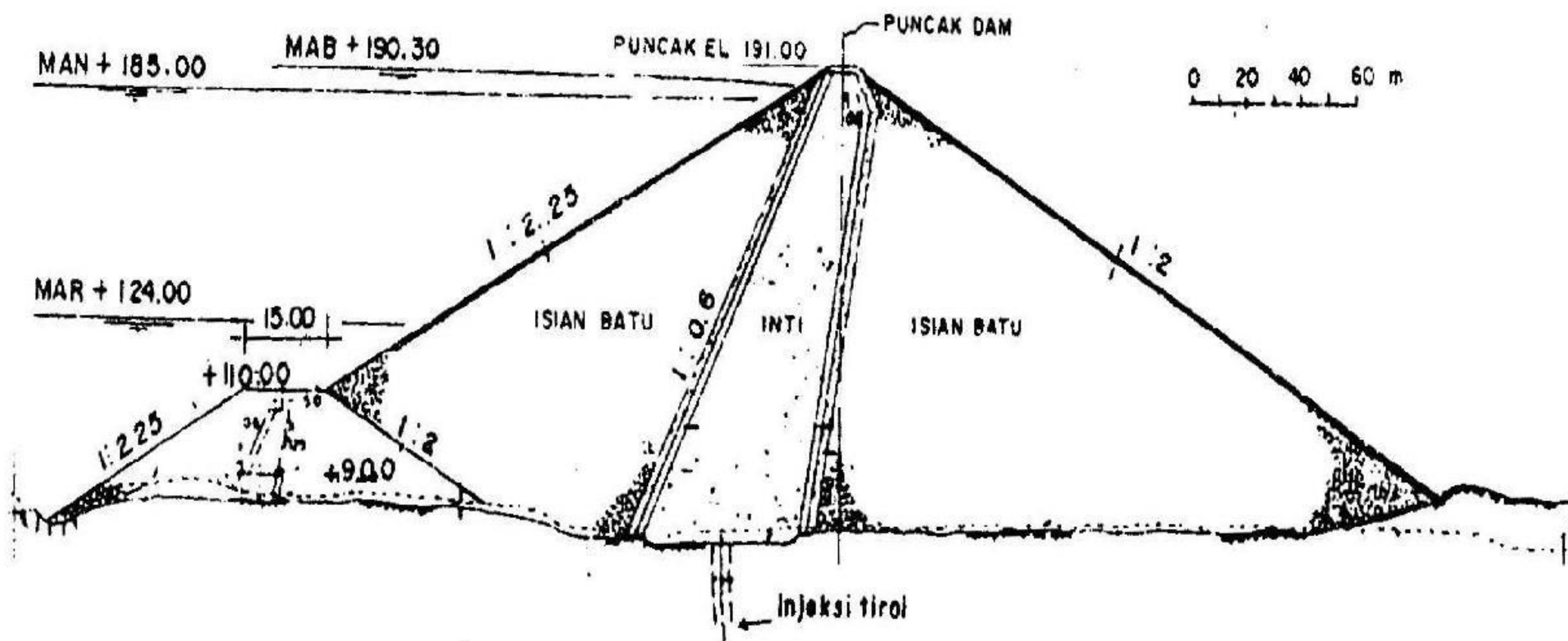
Gambar B.3 - Bendungan Malahayu, Jawa Tengah



Gambar B.4 - Bendungan Mrica, Jawa Tengah

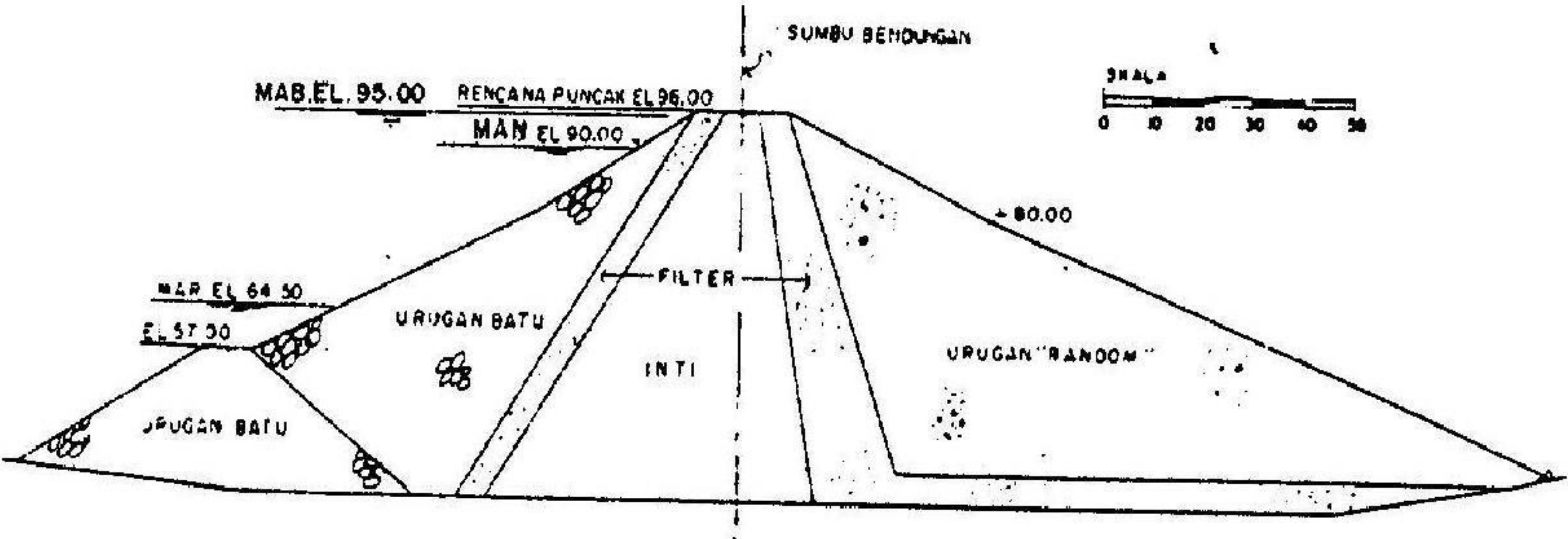


Gambar B.5 - Bendungan Sempor, Jawa Tengah

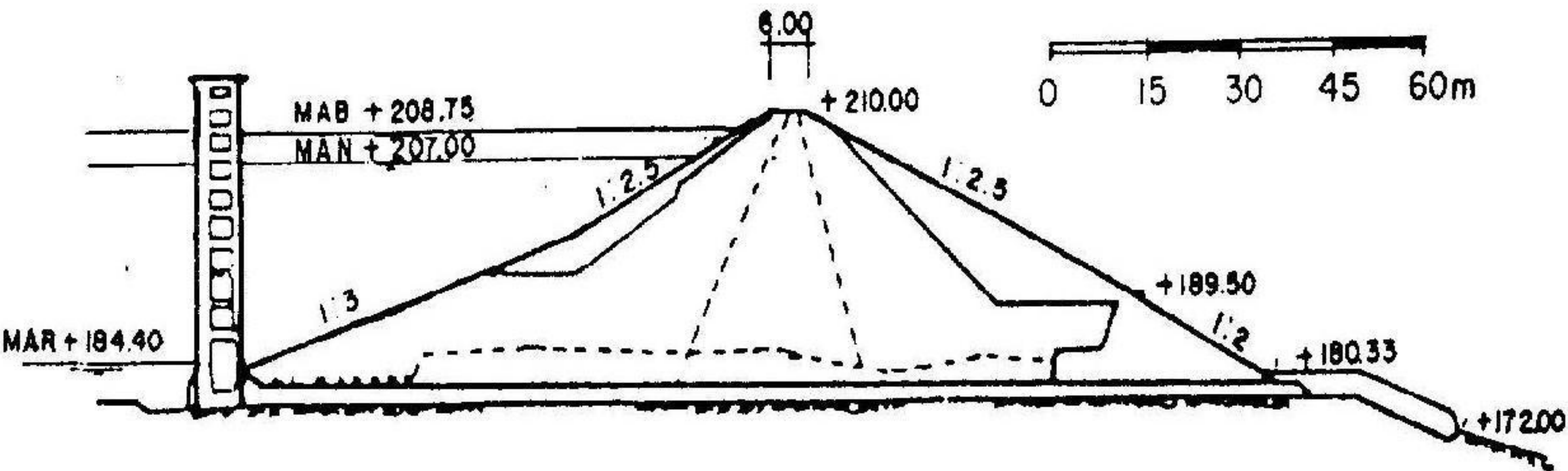


Gambar B.6 - Bendungan Wadaslintang, Jawa Tengah

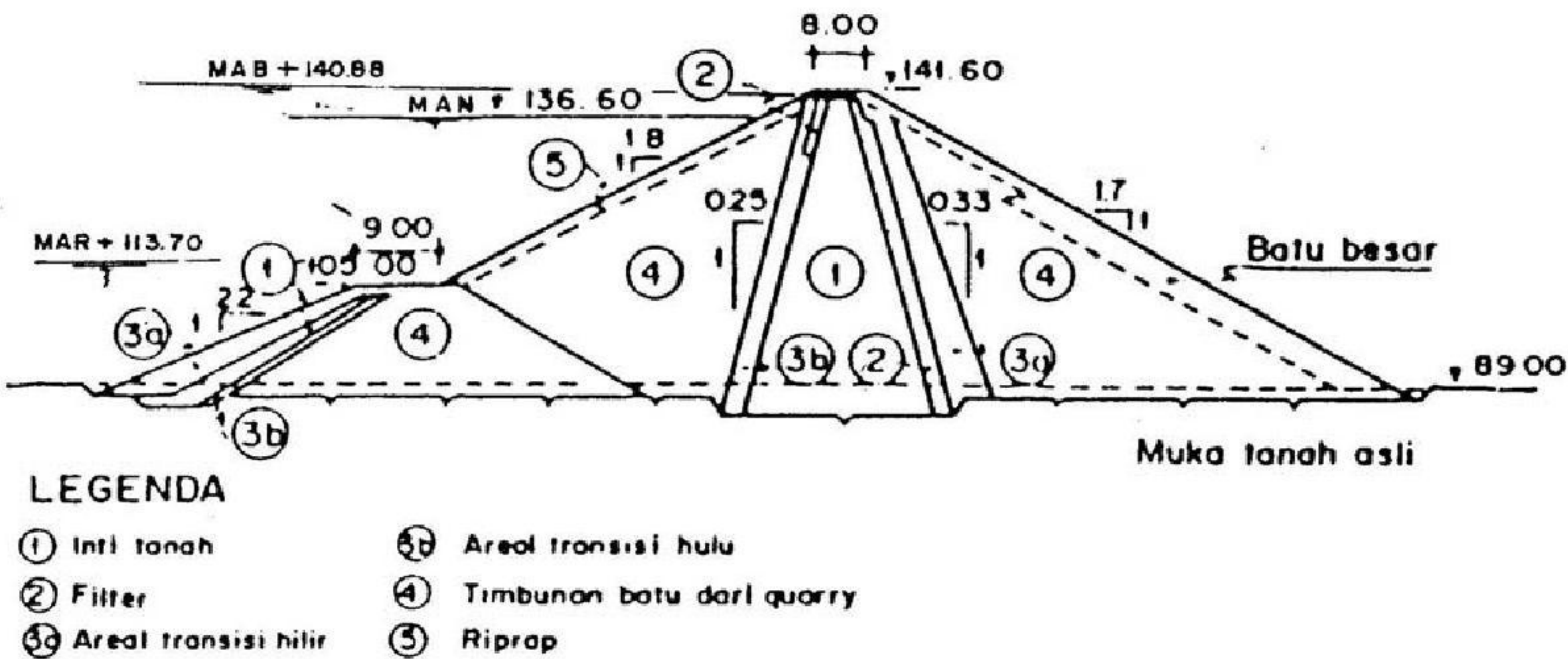




Gambar B.7 - Bendungan Kedungombo, Jawa Tengah

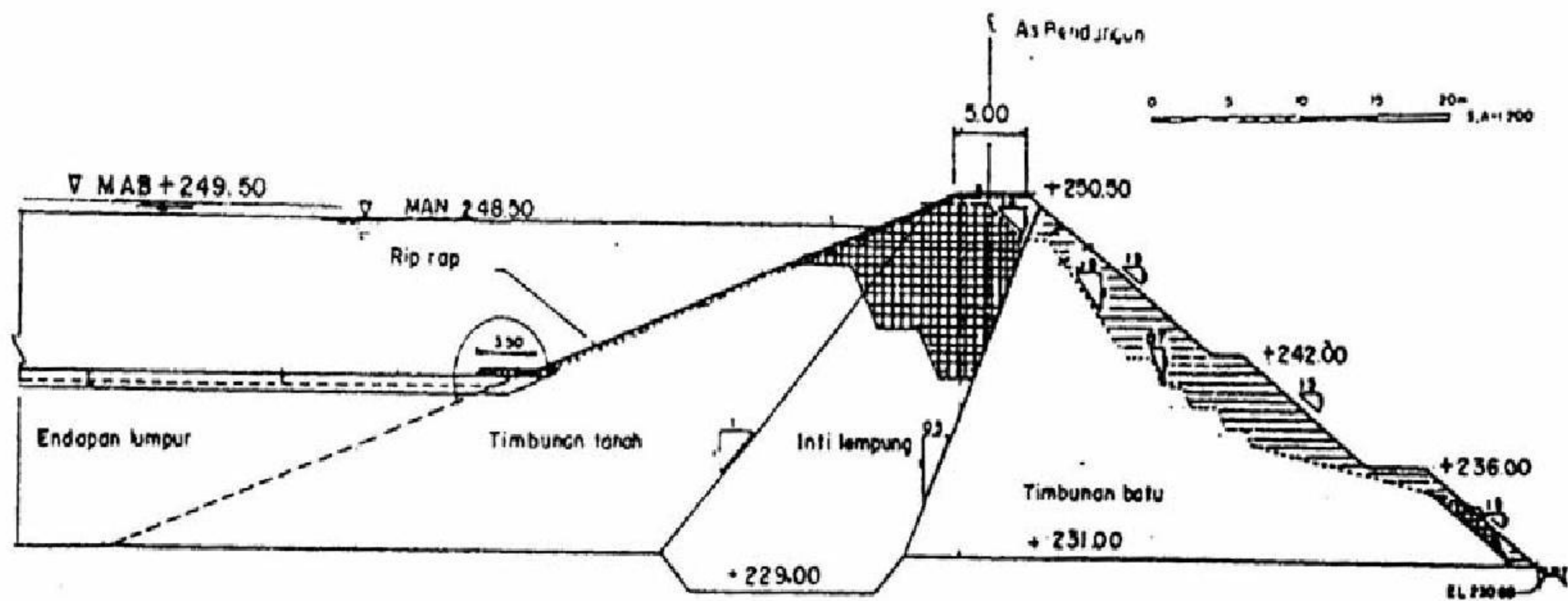


Gambar B.8 - Bendungan Gembong, Jawa Tengah

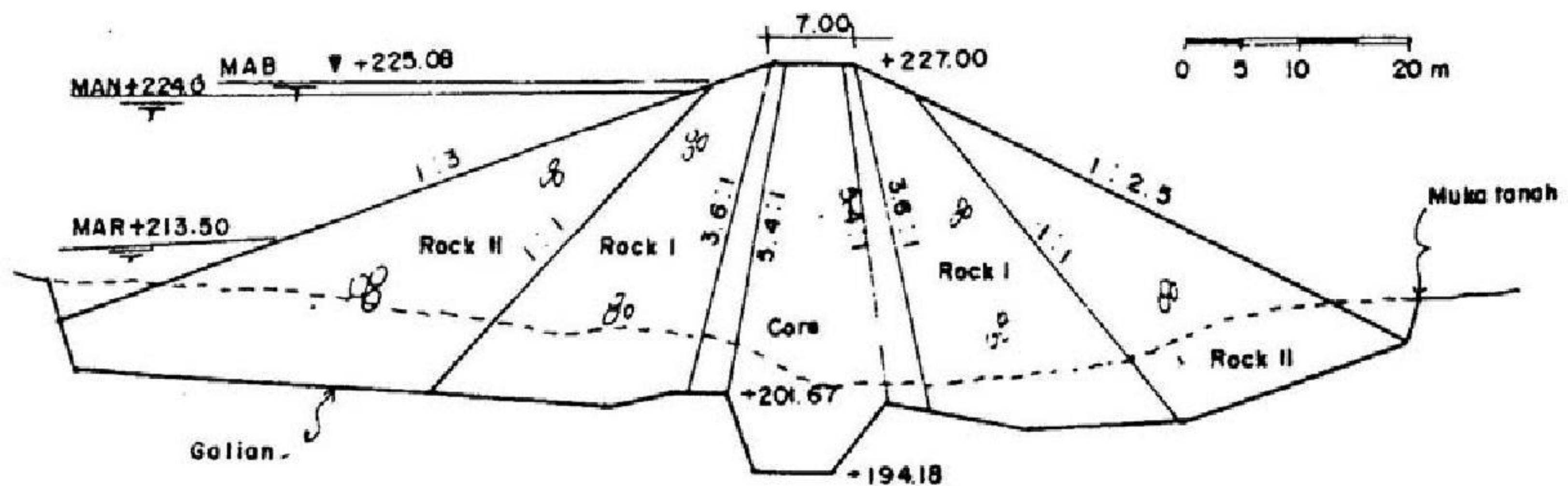


Gambar B.9 - Bendungan Sermo, Jawa Tengah

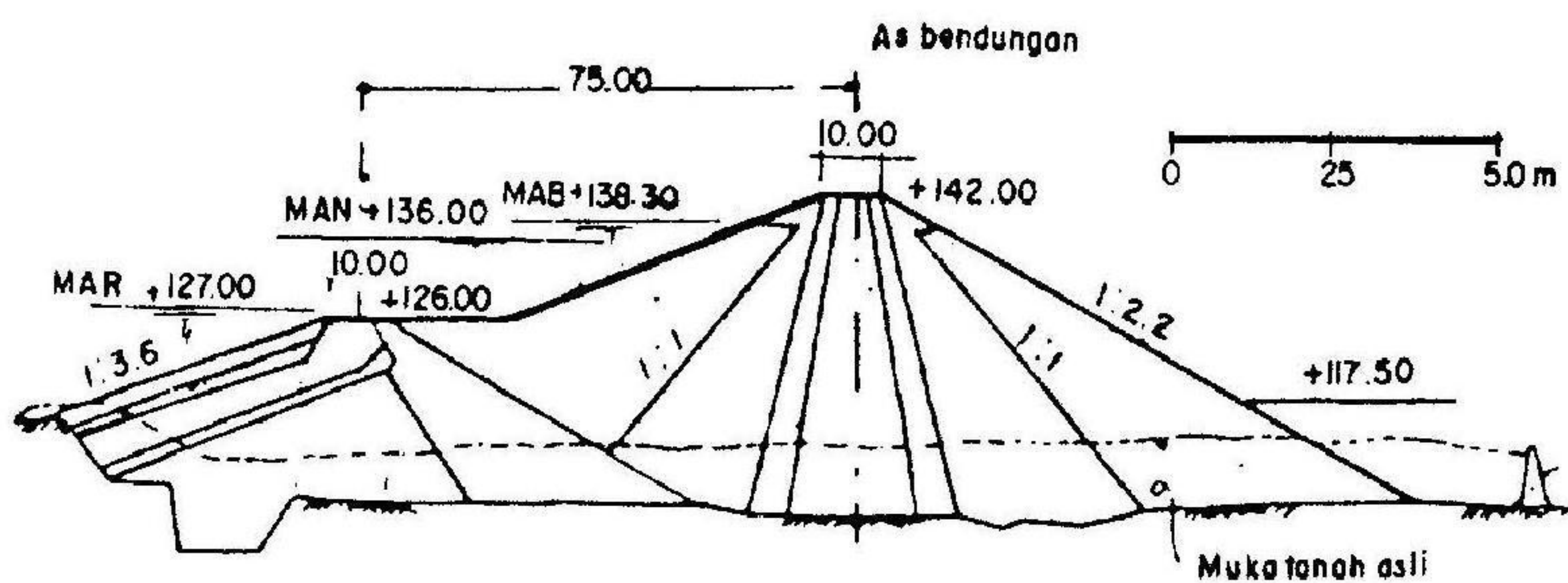




Gambar B.10 - Bendungan Ngancar, Jawa Tengah

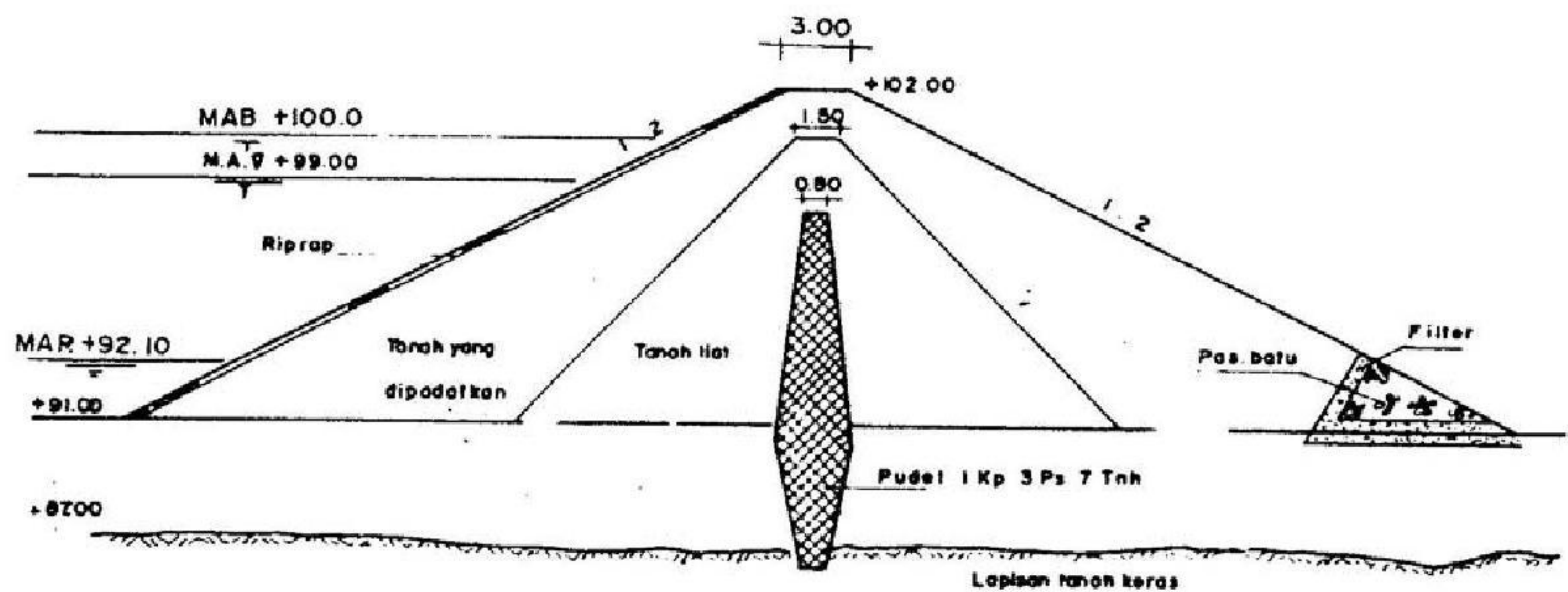


Gambar B.11 - Bendungan Song Putri, Jawa Tengah

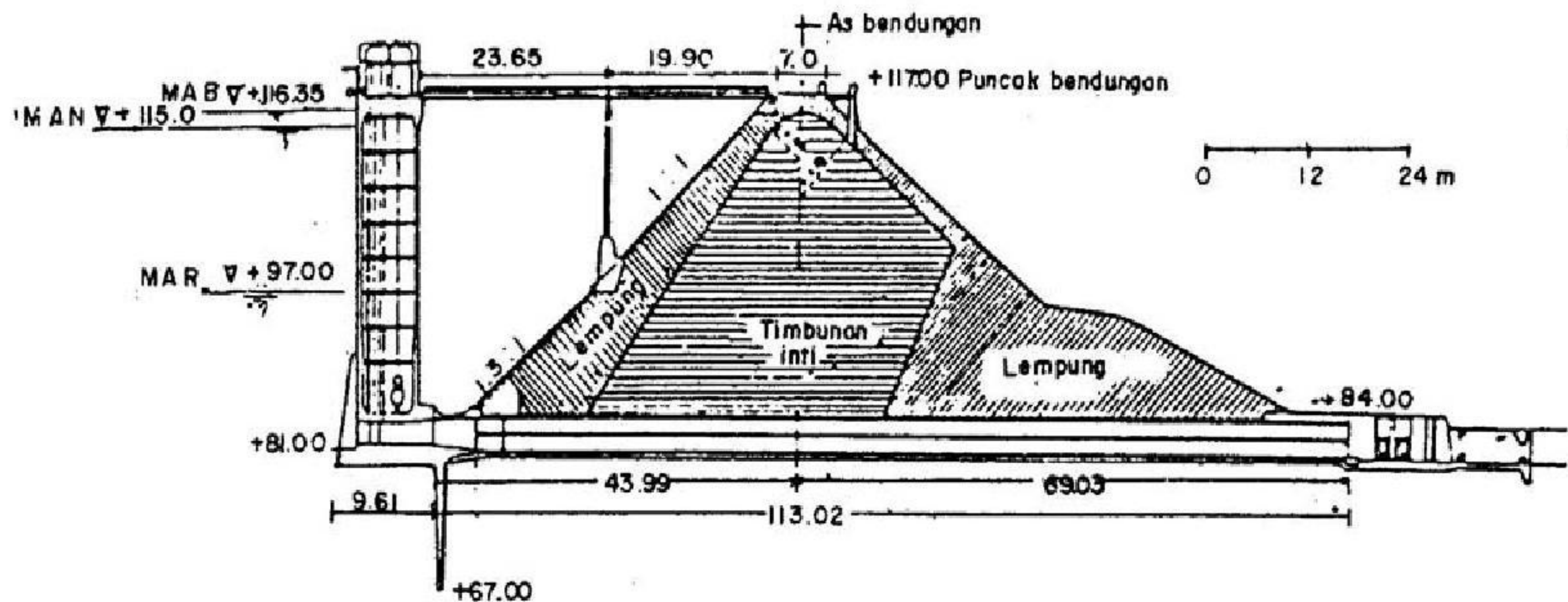


Gambar B.12 - Bendungan Wonogiri, Jawa Tengah

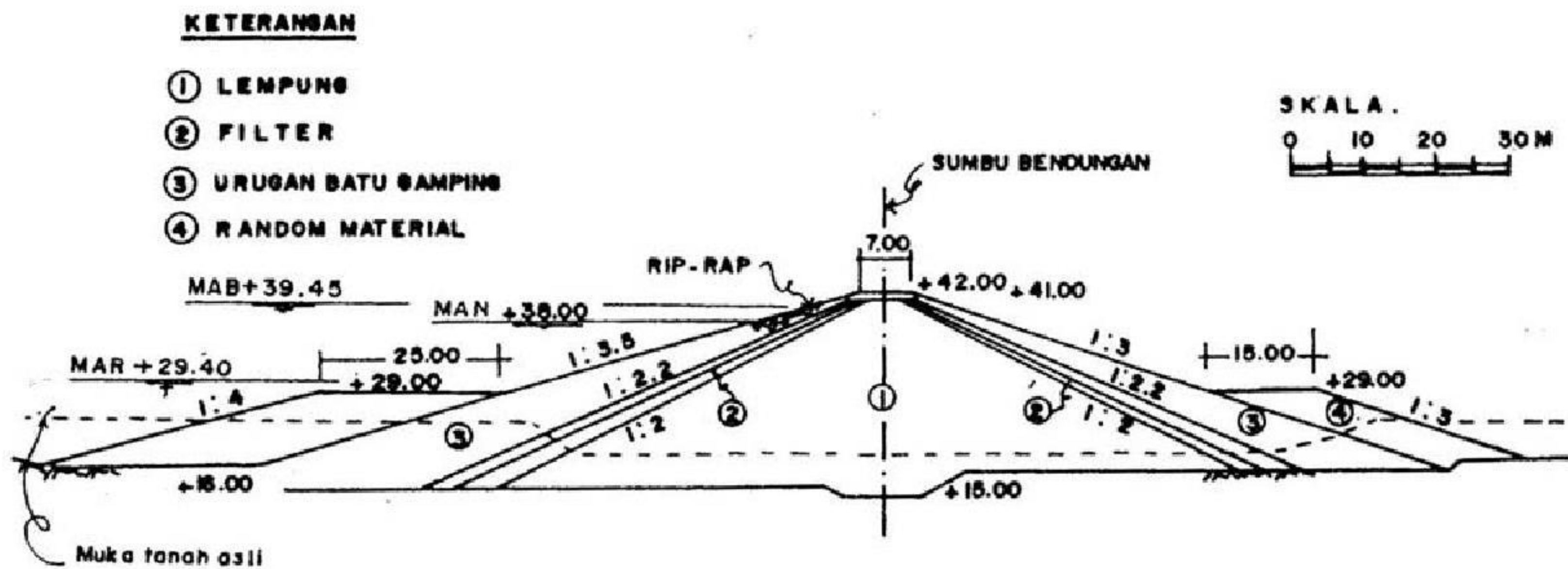




Gambar B.13 Bendungan Ketro Jawa Tengah

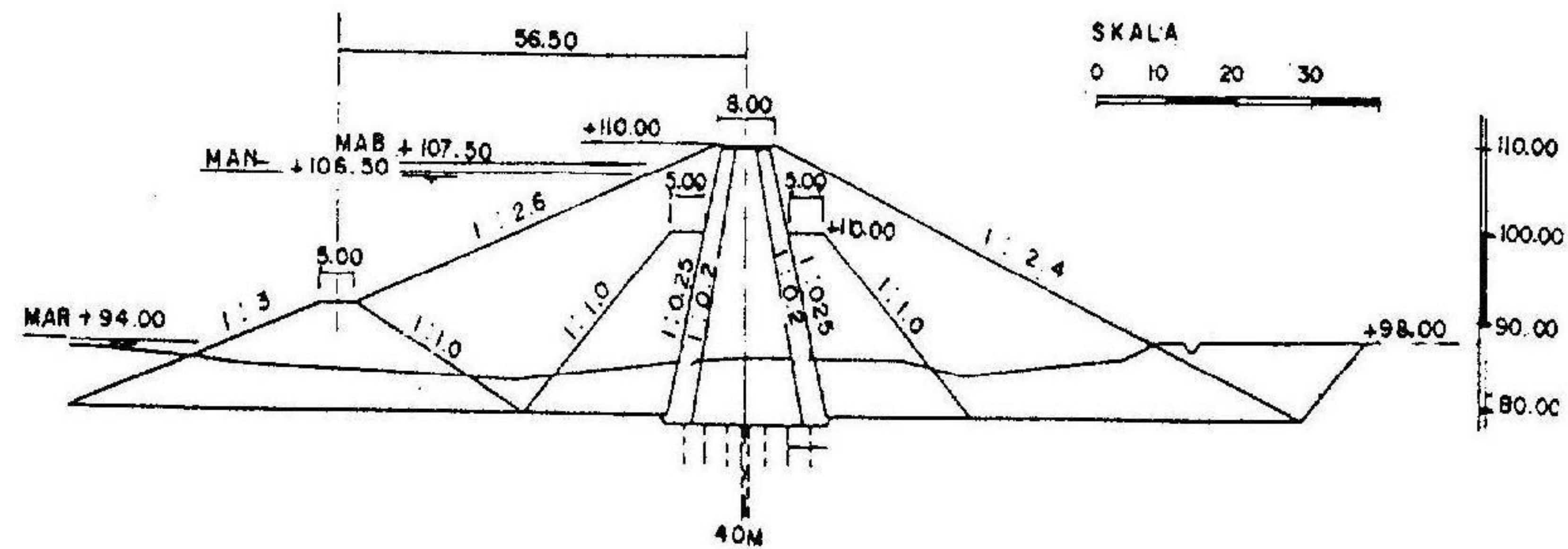


Gambar B.14 - Bendungan Pacal, Jawa Tengah

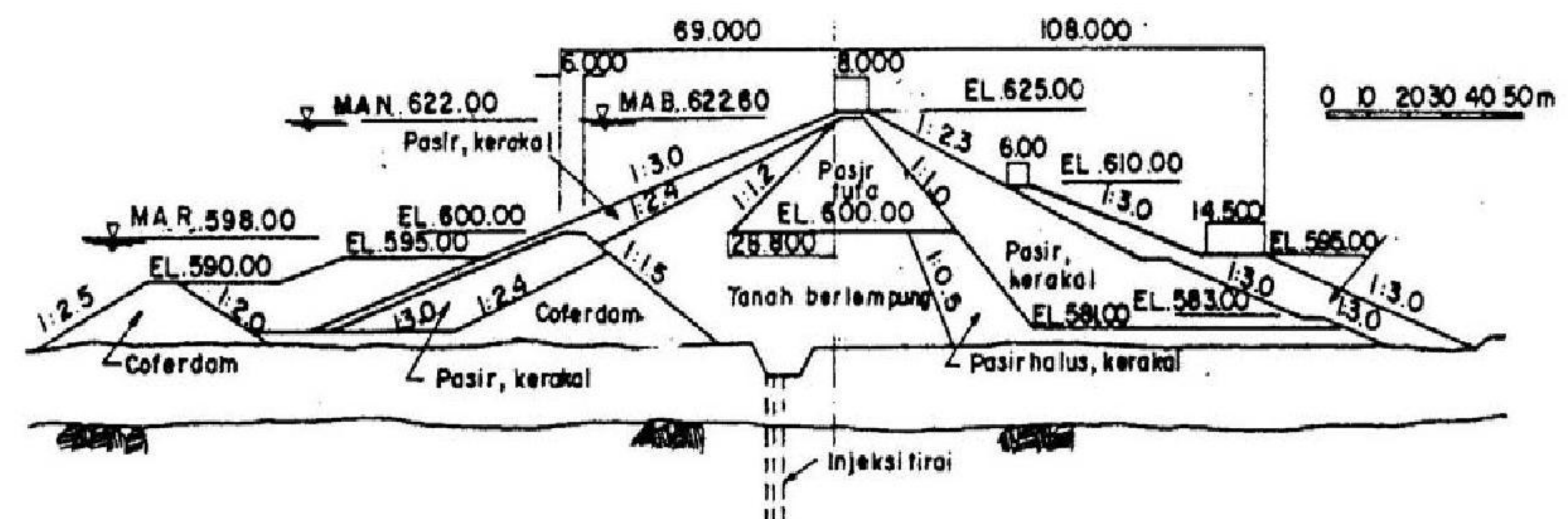


Gambar B.15 - Bendungan Gondang, Jawa Tengah

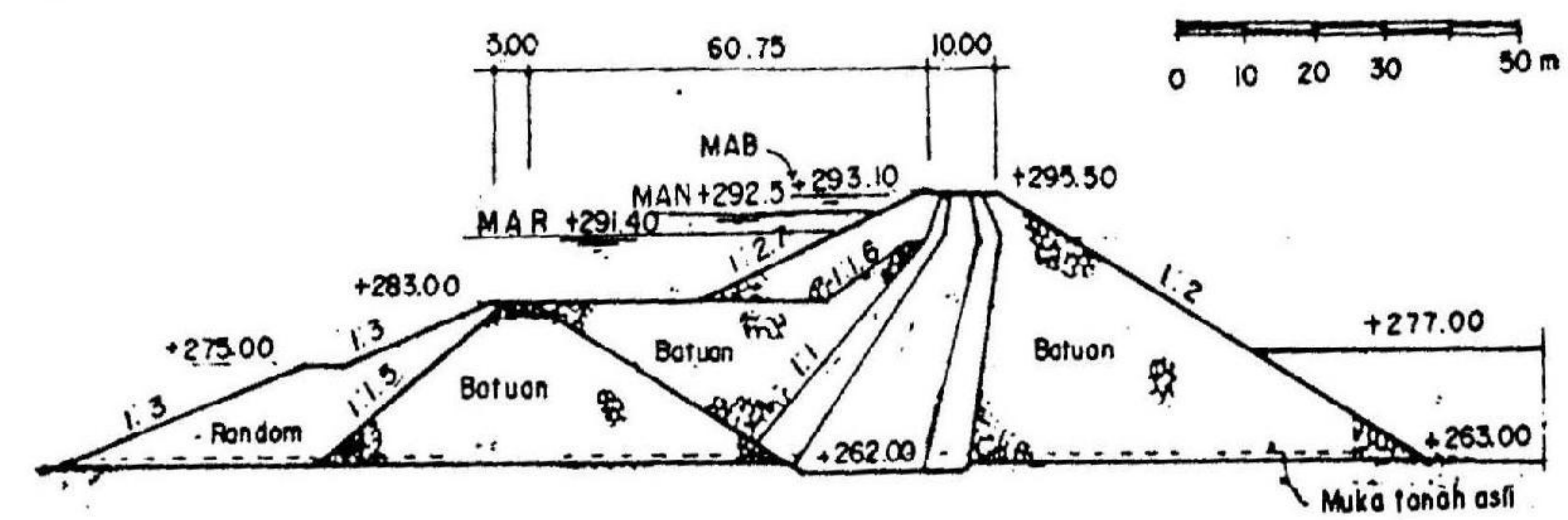




Gambar B.16 - Bendungan Pondok, Jawa Tengah

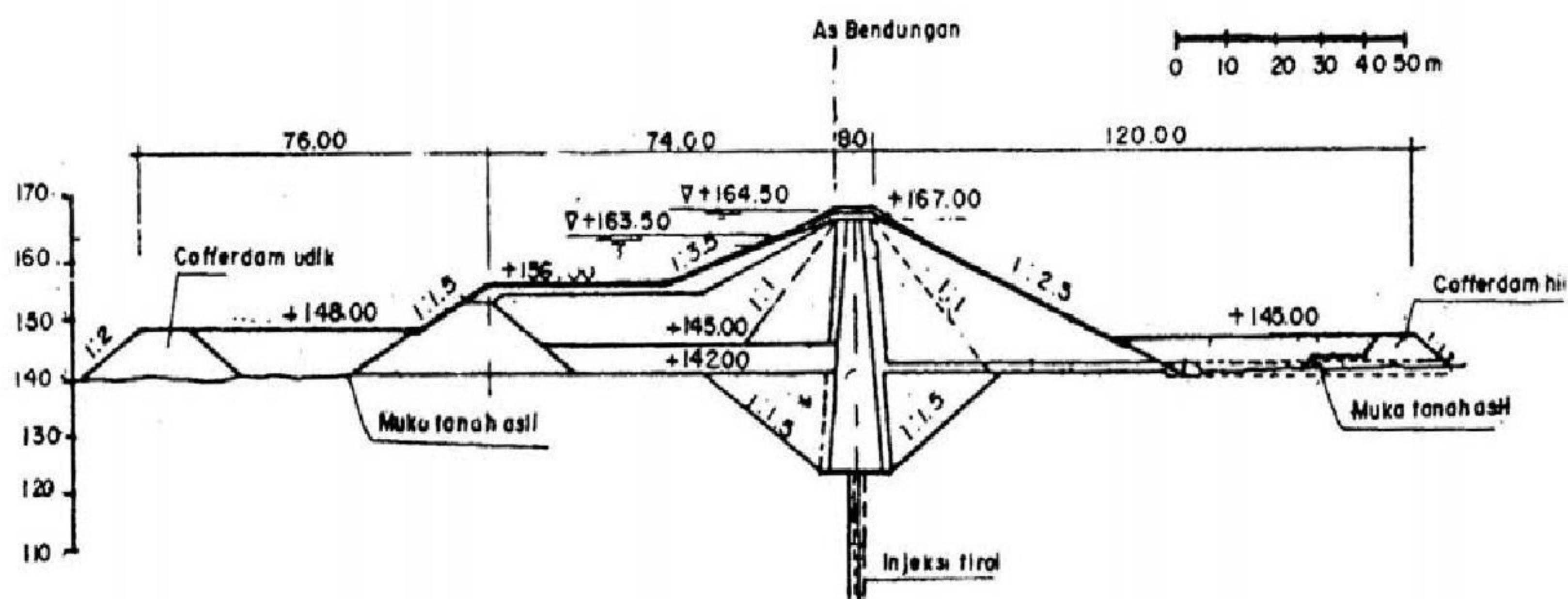


Gambar B.17 - Bendungan Selorejo, Jawa Timur

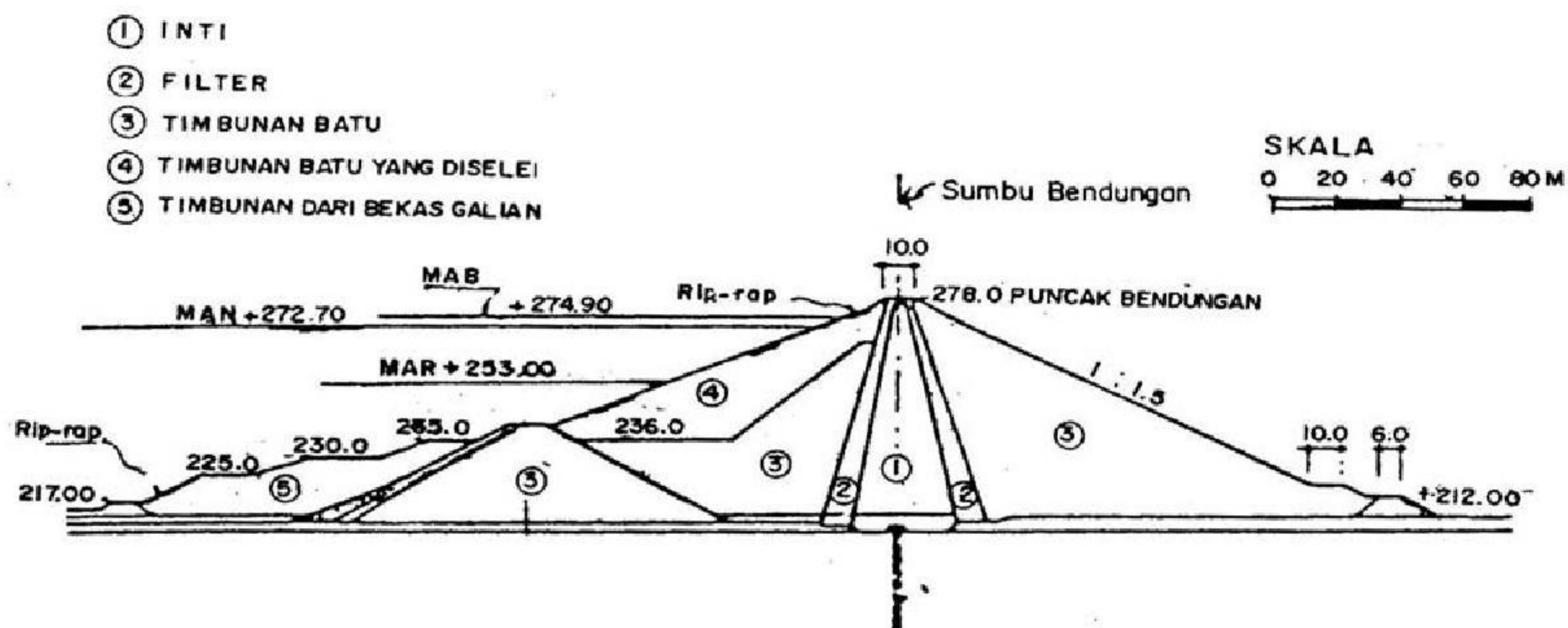


Gambar B.18 - Bendungan Sengguruh, Jawa Timur

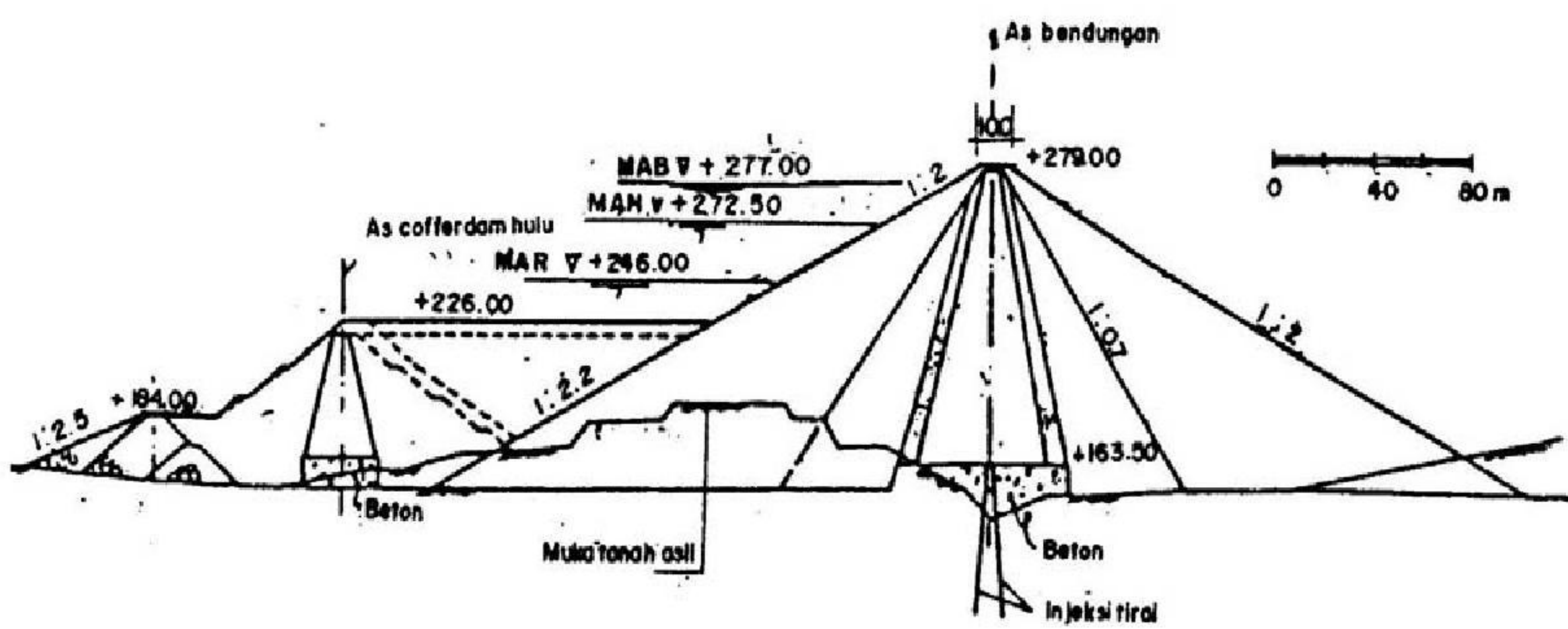




Gambar B.19 - Bendungan Wlingi, Jawa Timur

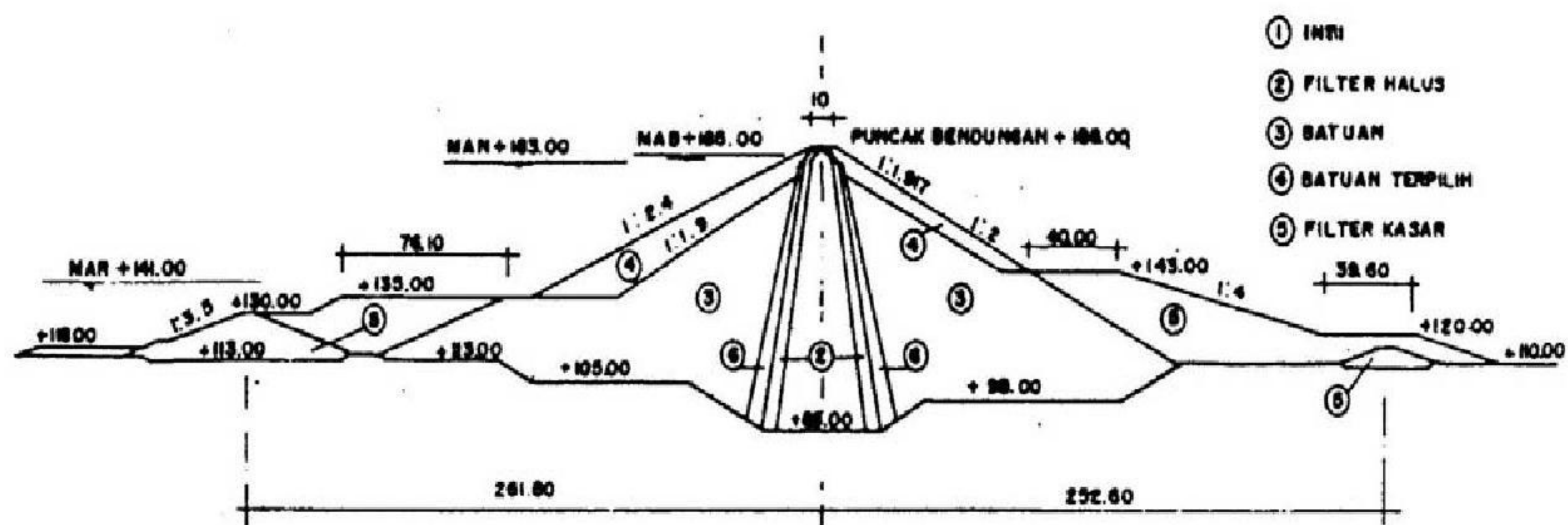


Gambar B.20 - Bendungan Lahor, Jawa Timur

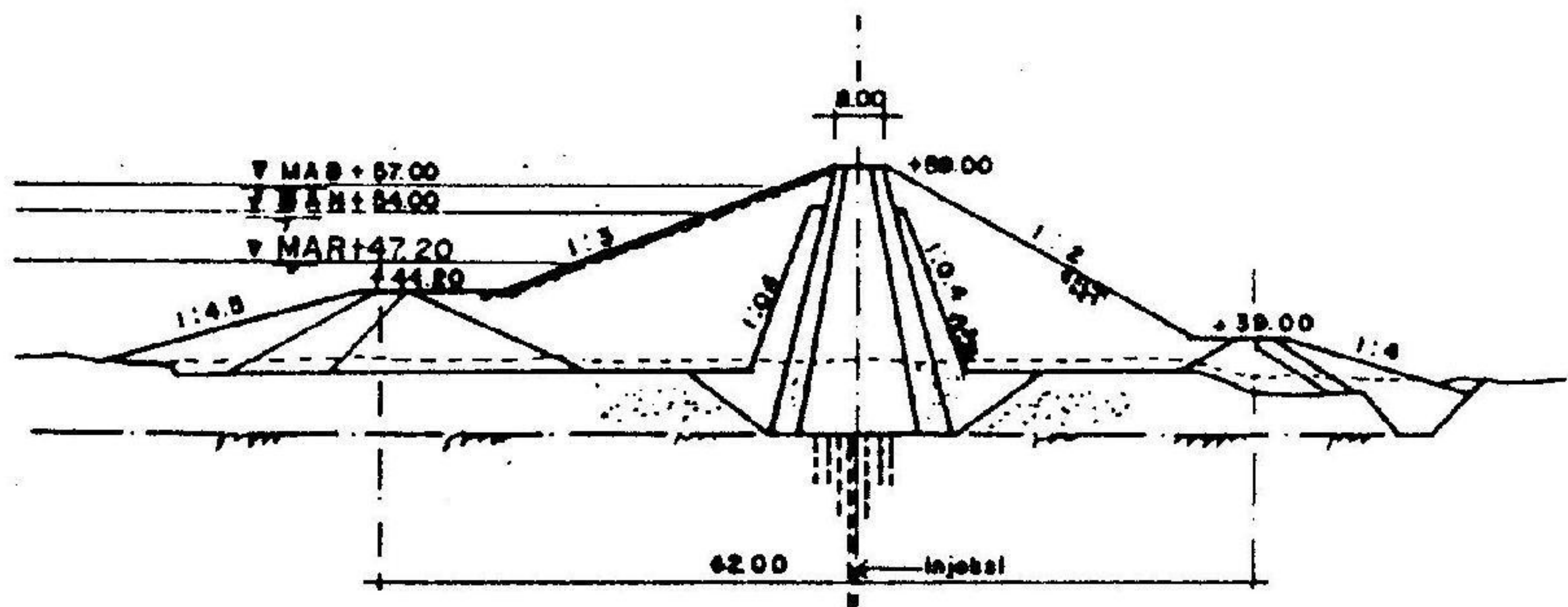


Gambar B.21 - Bendungan Sutami, Jawa Timur

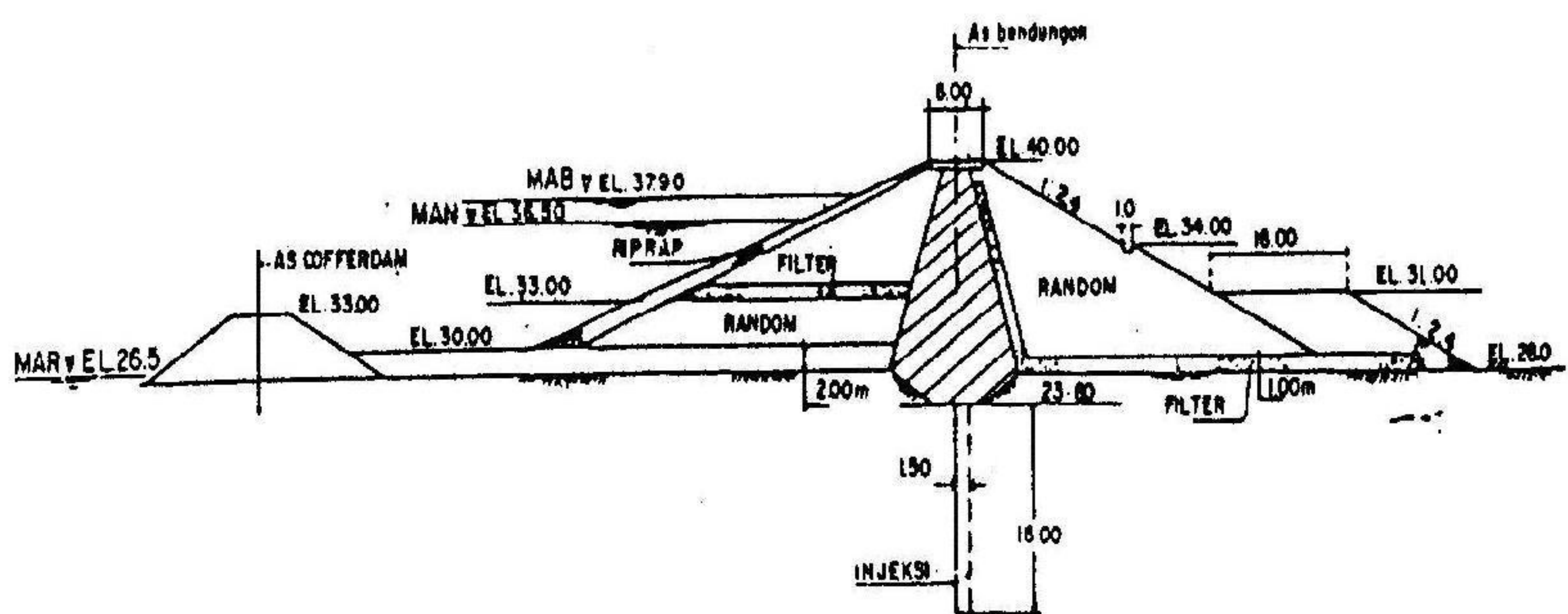




Gambar B.22 - Bendungan Wonorejo, Jawa Timur

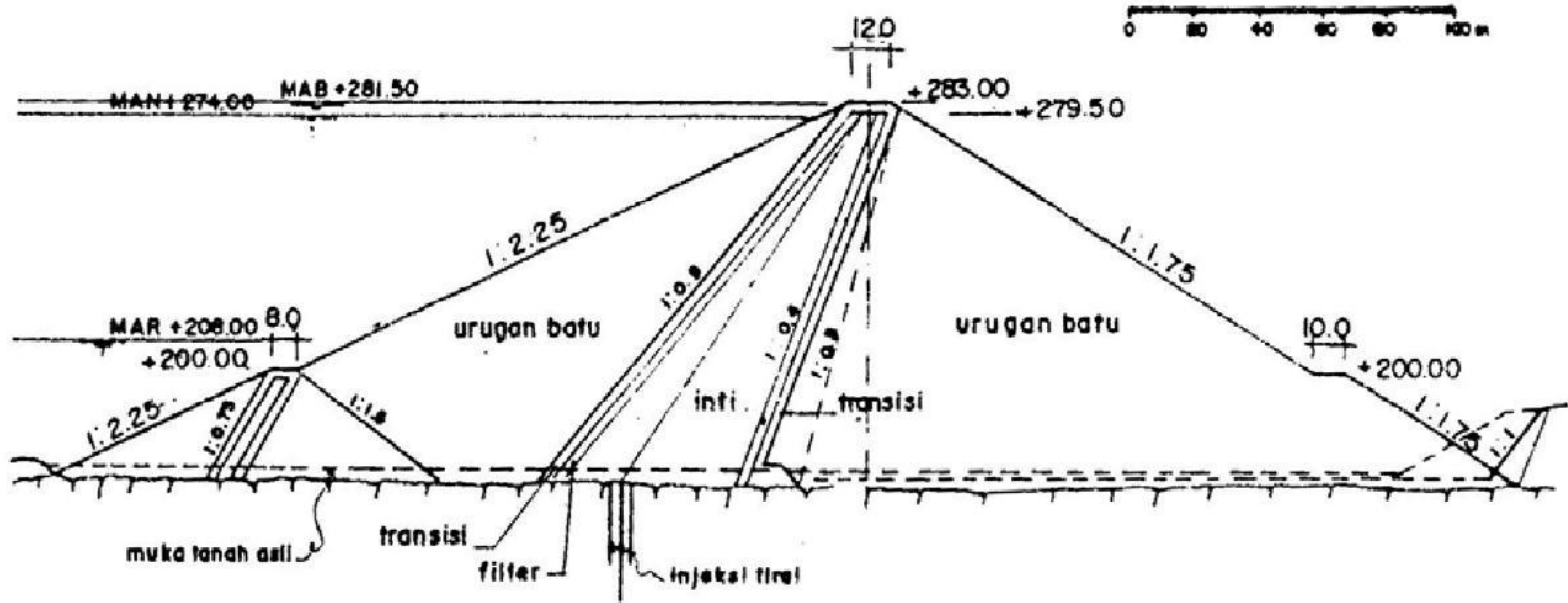


Gambar B.23 - Bendungan Way Rarem, Lampung

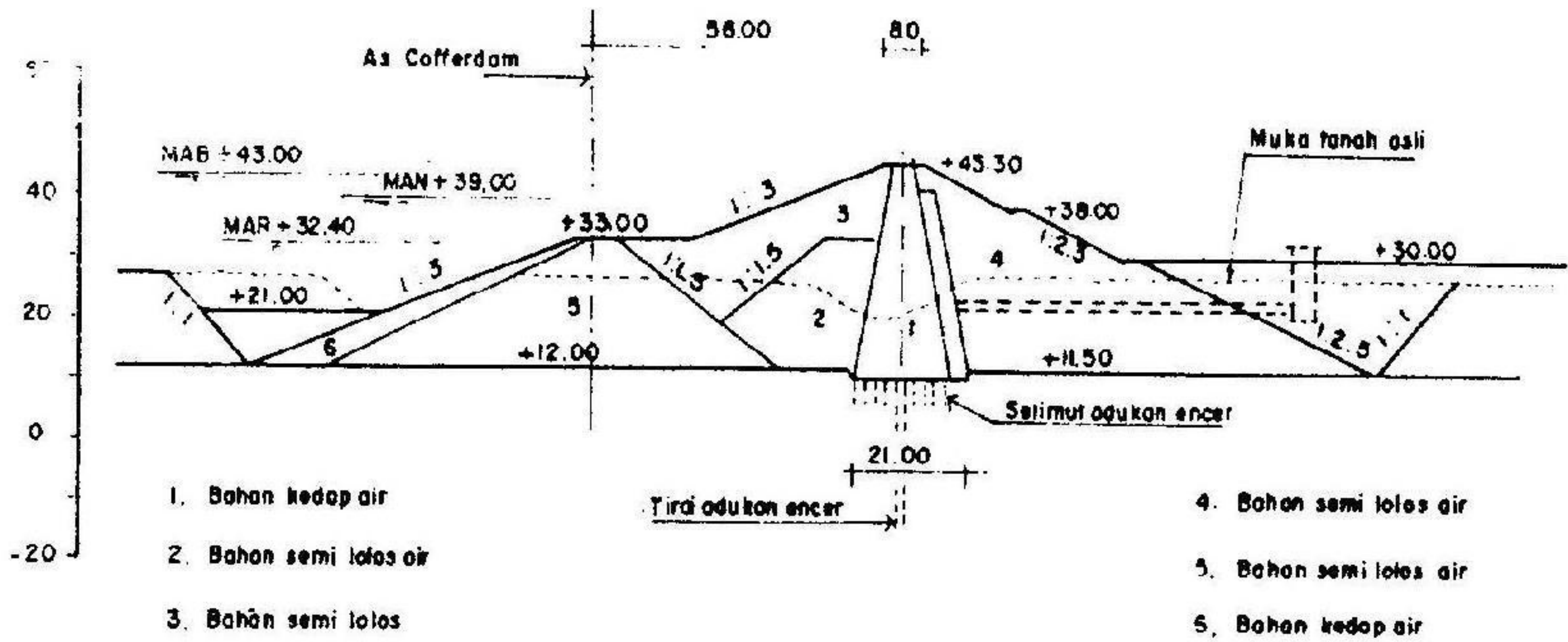


Gambar B.24 - Bendungan Way Jepara, Lampung

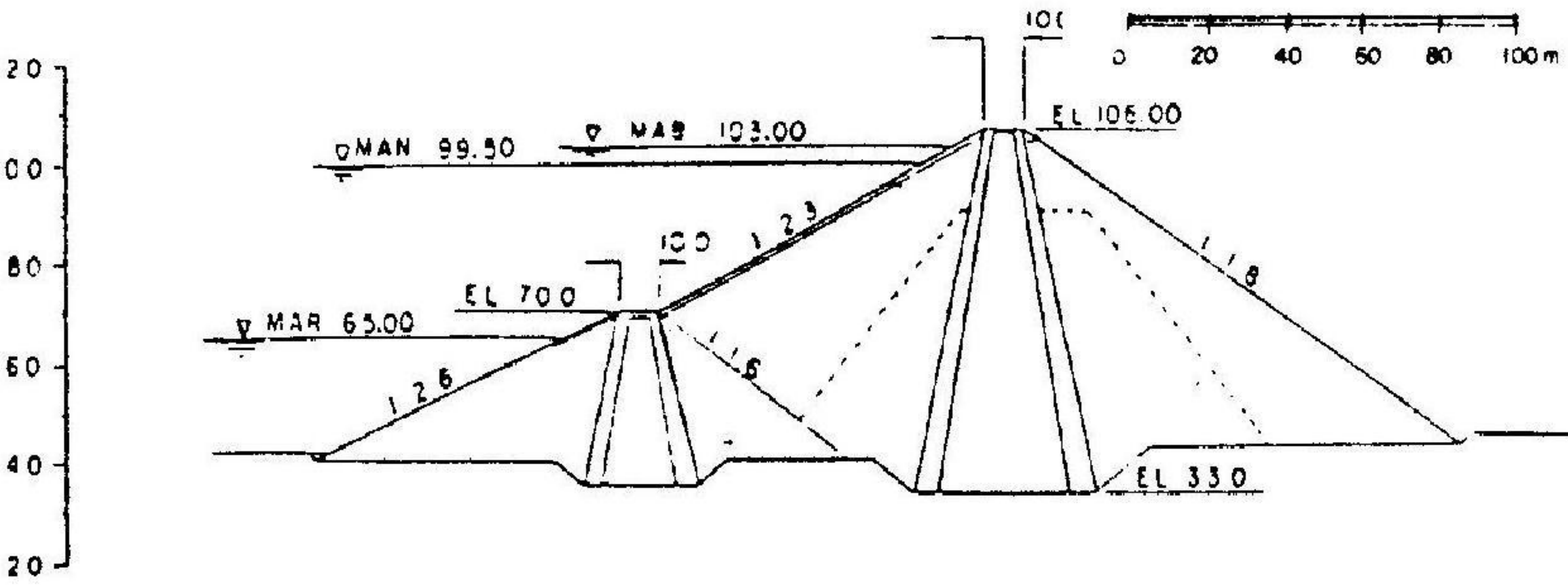




Gambar B.25 - Bendungan Batutegi, Lampung

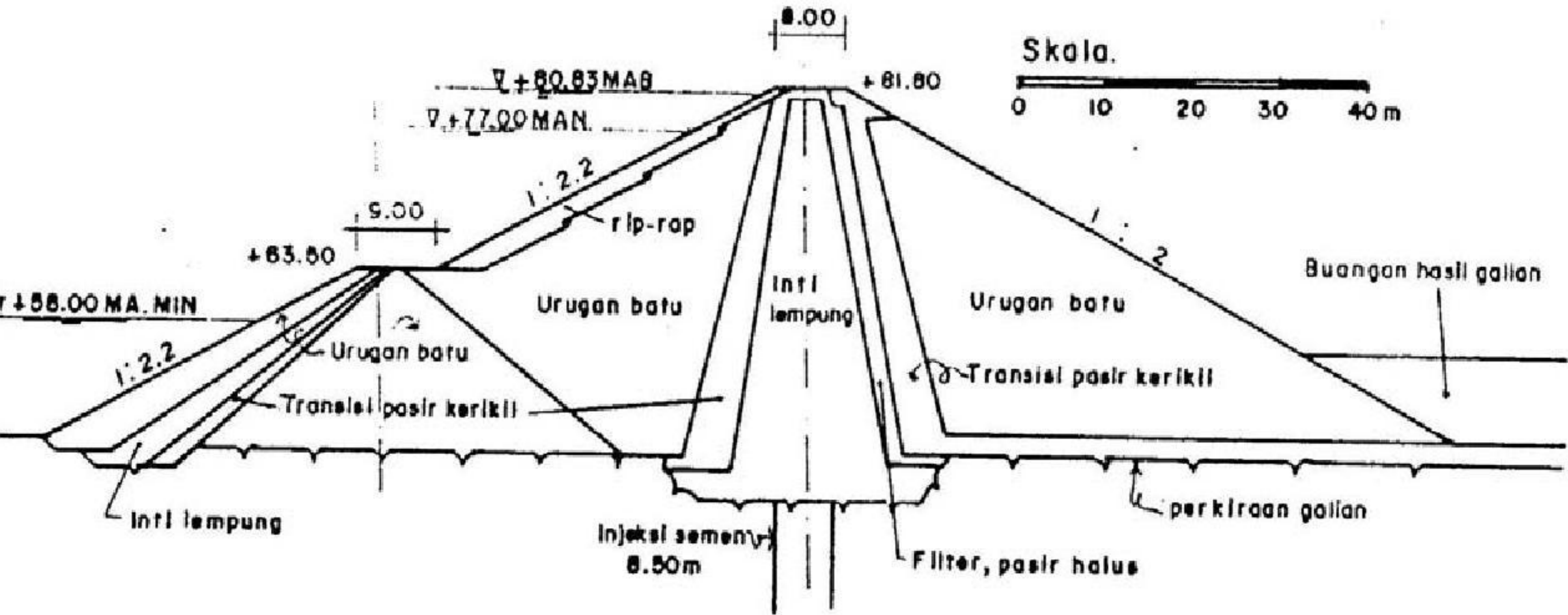


Gambar B.26 - Bendungan Kalola, Sulawesi

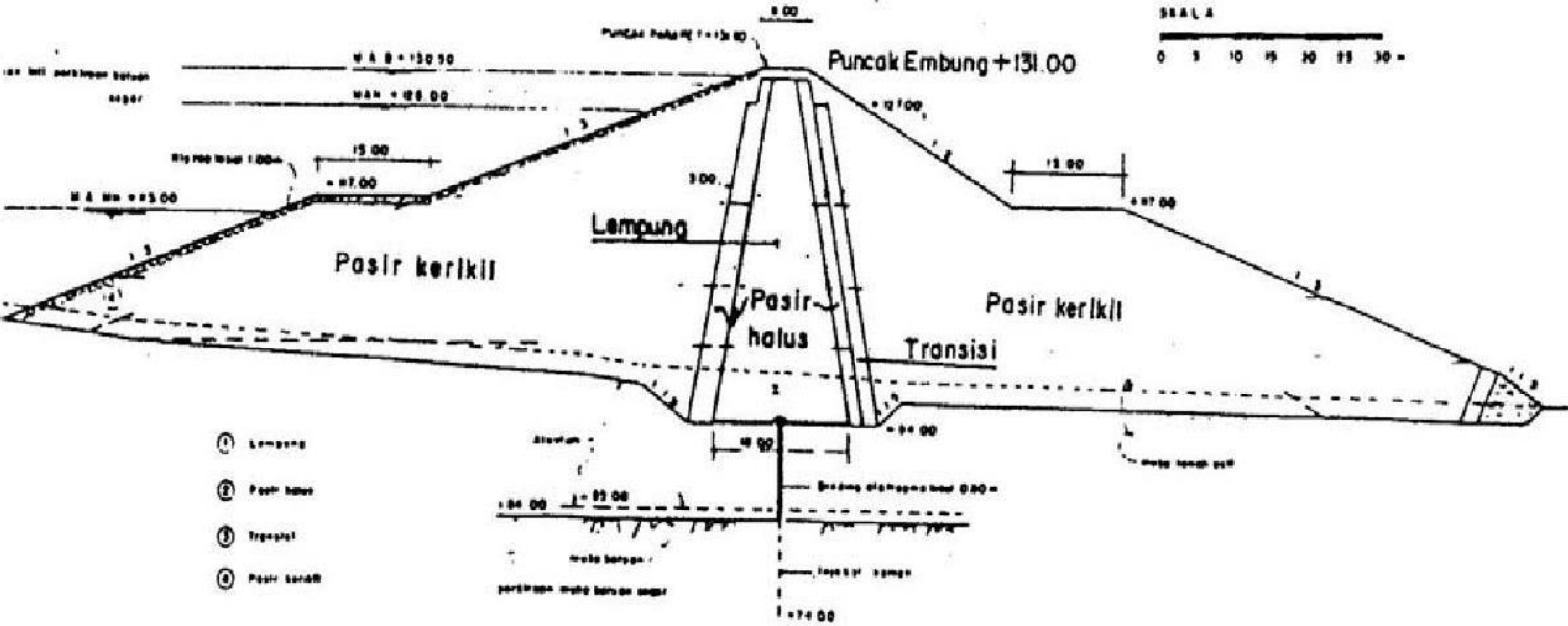


Gambar B.27 - Bendungan Bili-Bili, Sulawesi

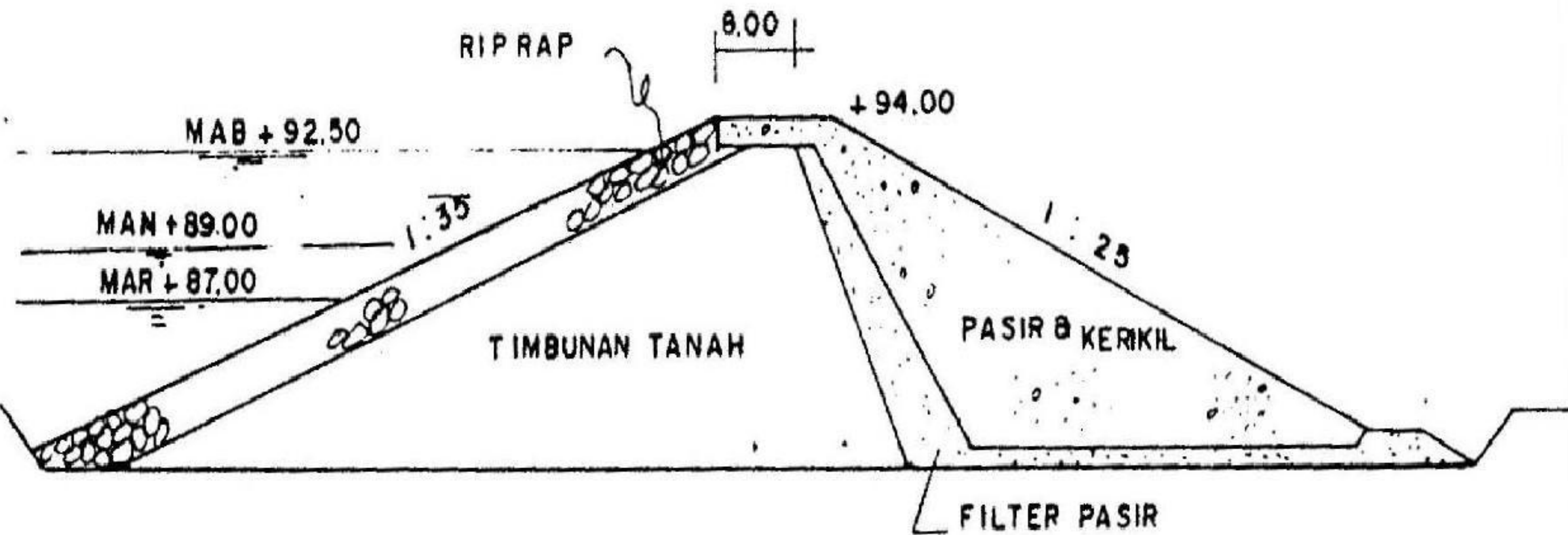




Gambar B.28 - Bendungan Palasari, Bali

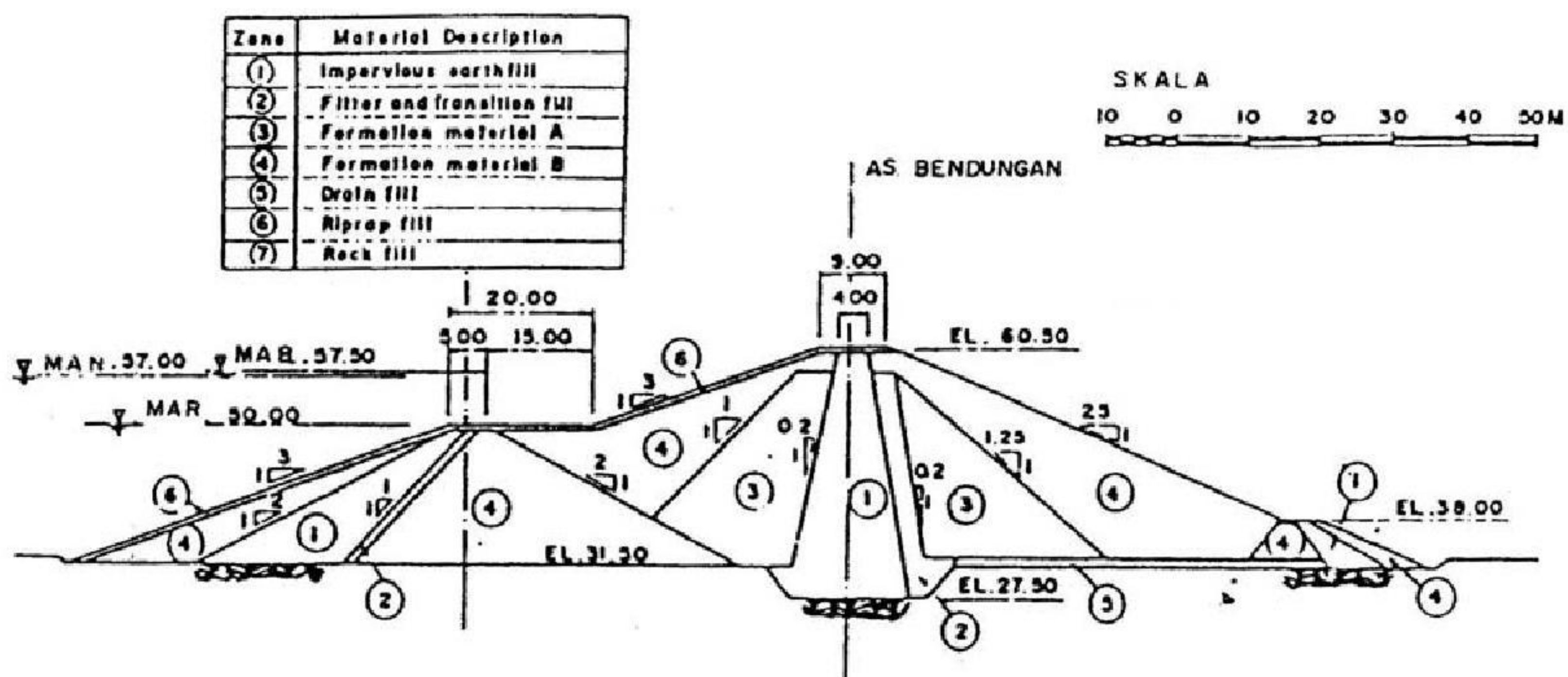


Gambar B.29 - Bendungan Grokgak, Bali

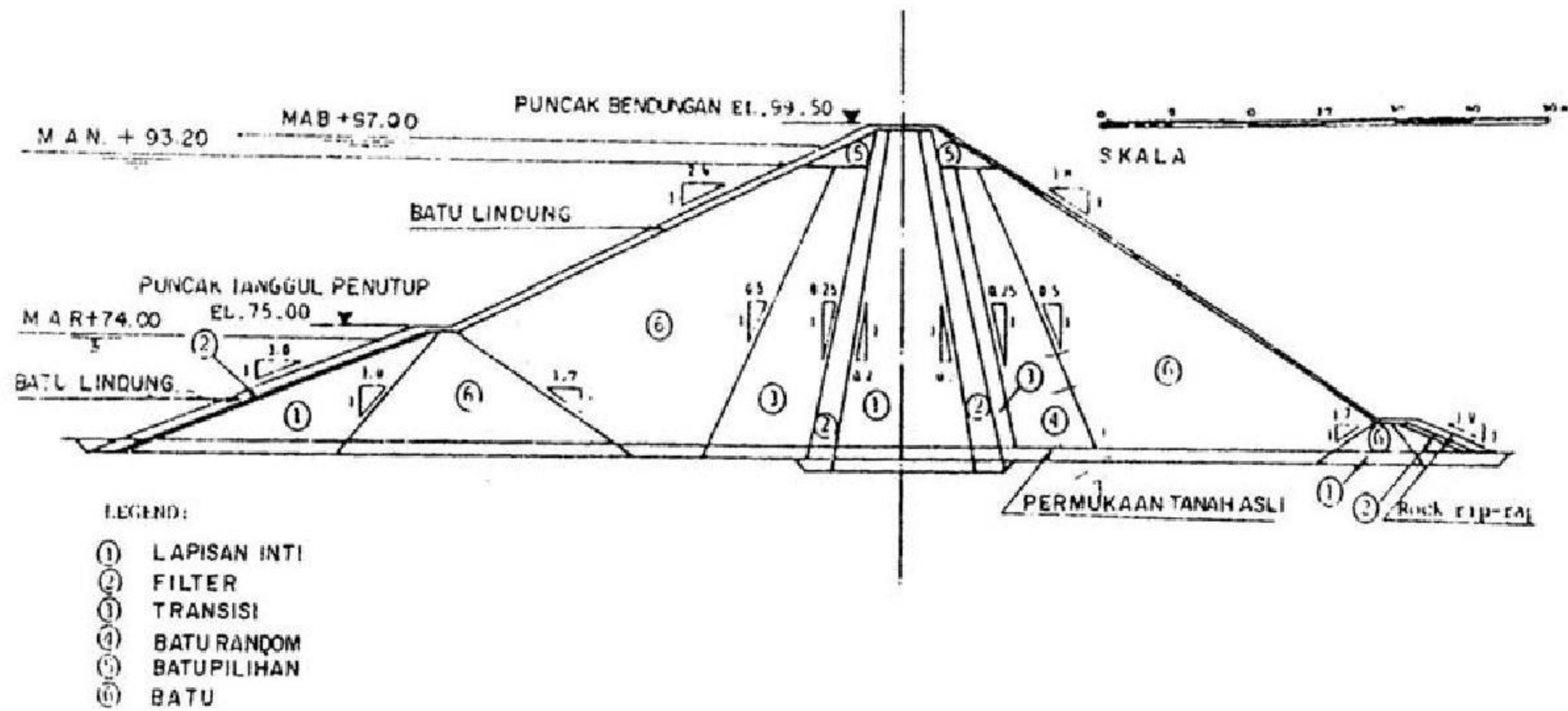


Gambar B.30 - Bendungan Batujai, Lombok

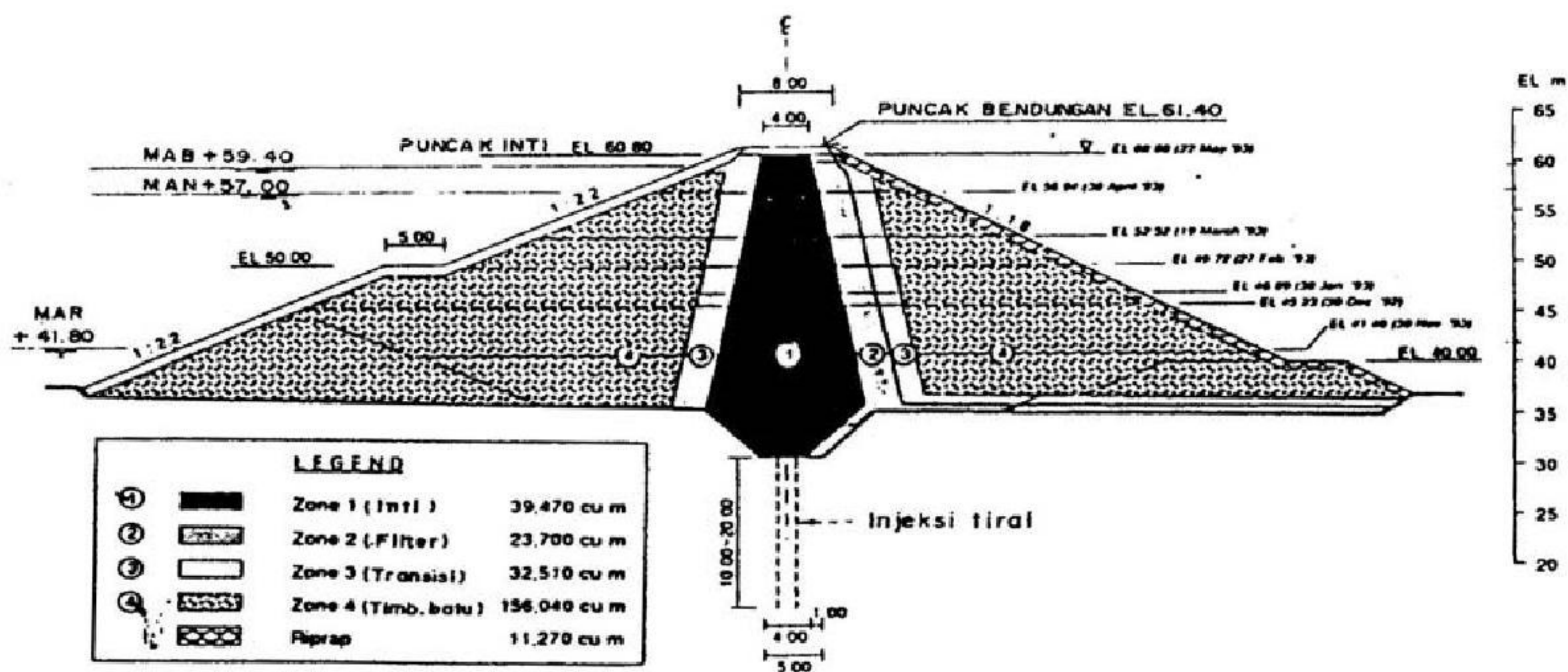




Gambar B.31 - Bendungan Pengga, Lombok



Gambar B.32 - Bendungan Mamak, Sumbawa



Gambar B.33 - Bendungan Tiu Kulit, Sumbawa



Tabel B.1 - Data bendungan tipe urugan zonal di Indonesia

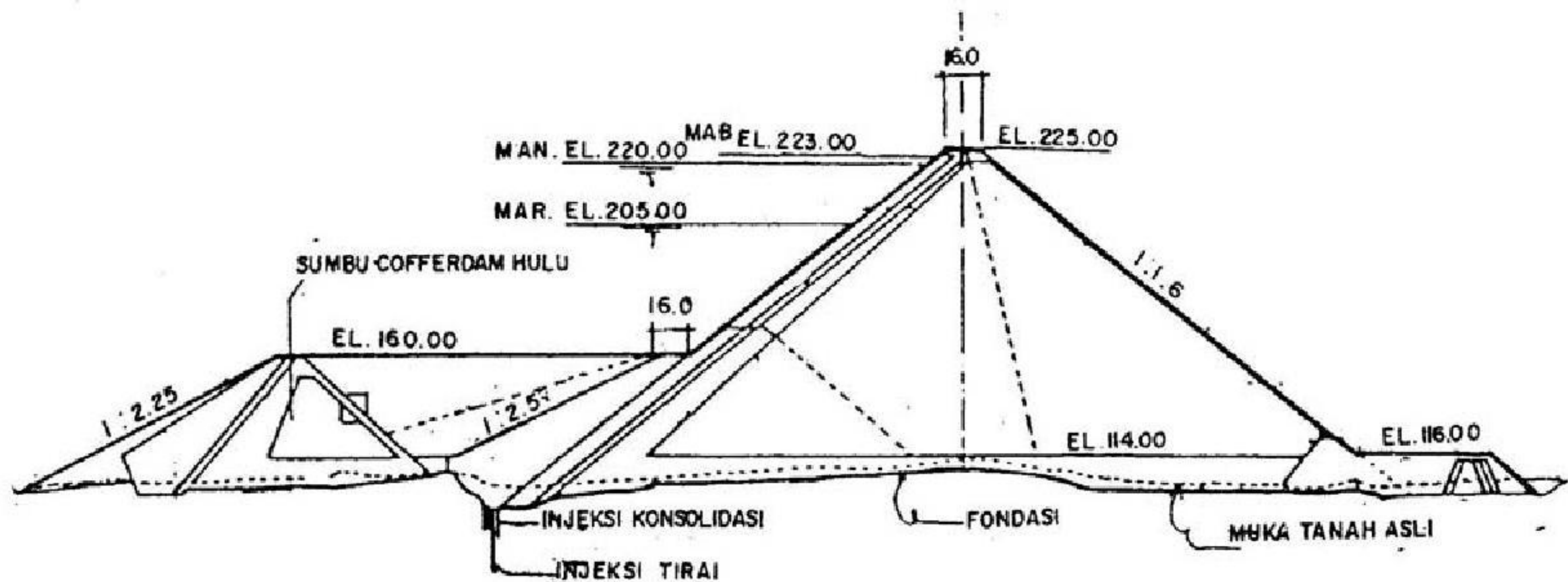
No.	Bendungan	Prop.	Kapasitas Waduk (m <sup>3</sup> )	El.Mab (m)	El.Man (m)	El. Puncak (m)	Lebar Puncak (m)	Jagaan Mab (m)	Jagaan Man (m)	Tinggi (m)	Jagaan minimum (m)	Zona* gempa	Selesai (Thn)
1	Saguling	Jabar	875.00	645.00	643.00	650.50	10.00	5.50	7.50	97.50		D	1996
2	Juanda	Jabar	2556.00	111.50	107.00	114.50	10.00	3.00	7.50	96.00		D	1967
3	Malahayu	Jateng	39.88	57.55	55.75	59.25	4.00	1.70	3.50	29.75		C	1940
4	Mrica	Jateng	193.50	234.50	231.00	235.00	6.00	0.50	4.00	95.00		C	1989
5	Sempor	Jateng	52.00	73.70	72.00	77.00	10.00	3.30	5.00	49.00		C	1978
6	Wadaslintang	Jateng	443.00	190.30	185.00	191.00	10.00	0.70	6.00	120.00		C	1987
7	Kedung Ombo	Jateng	723.00	95.00	90.00	96.00	12.00	1.00	6.00	61.00		C	1989
8	Gembong	Jateng	9.50	208.75	207.00	210.00	6.00	1.25	3.00	36.00		B	1933
9	Sermo	Jateng	25.00	140.88	136.60	141.60	8.00	0.72	5.00	52.60		D	1996
10	Ngancar	Jateng	2.05	249.50	248.50	250.50	5.00	1.00	2.00	19.40		D	1946
11	Song Putri	Jateng	0.73	225.08	224.00	227.00	7.00	1.92	3.00	25.00		D	1984
12	Wonogiri	Jateng	560.00	138.30	136.00	142.00	10.00	3.70	6.00	30.00		D	1982
13	Ketro	Jateng	2.80	100.00	99.00	102.00	3.00	2.00	3.00	11.00		C	1984
14	Pacal	Jatim	41.18	116.35	115.00	117.00	7.00	0.65	2.00	33.00		C	1933
15	Gondang	Jatim	25.90	39.45	38.00	42.00	7.00	2.55	4.00	22.00		C	1986
16	Pondok	Jatim	30.90	107.50	106.50	110.00	8.00	2.50	3.50	30.67		C	1995
17	Selorejo	Jatim	62.30	622.60	622.00	625.00	8.00	2.40	3.00	46.00		C	1970
18	Sengguruh	Jatim	23.00	293.10	292.50	295.50	10.00	2.40	3.00	33.00		C	1988
19	Wlingi	Jatim	24.00	164.50	163.00	167.00	8.00	2.50	4.00	28.00		C	1977
20	Lahor	Jatim	36.10	274.90	272.70	278.00	10.00	3.10	5.30	72.00		C	1975
21	Sutami	Jatim	343.00	277.00	272.50	279.00	13.70	2.00	6.50	96.00		C	1973
22	Wonorejo	Jatim	122.00	185.00	183.00	188.00	10.00	3.00	5.00	95.00		C	1999
23	Way Rarem	Lampung	72.40	57.00	54.00	59.00	8.00	2.00	5.00	24.00	OK	E	1984
24	Way Jepara	Lampung	34.85	37.90	36.50	40.00	6.00	2.10	3.50	14.00	OK	E	1978
25	Batutege	Lampung	500.00	281.50	274.00	283.00	12.00	1.50	9.00	113.00	OK	F	2001
26	Kalola	Sulawesi	70.00	43.00	39.00	45.30	8.00	2.30	6.30	33.80		C	1995
27	Bili Bili	Sulawesi	305.00	103.00	99.50	106.00	10.00	3.00	6.50	56.00		C	1999
28	Palasari	Bali	8.00	80.55	77.00	81.80	10.00	1.25	4.80	38.00		C	1989
29	Grogak	Bali	3.75	130.50	126.00	131.00	6.00	0.50	5.00	30.00		C	1994
30	Batujai	Lombok	23.50	92.50	89.00	94.00	8.00	1.50	5.00	16.00		D	1982
31	Pengga	Lombok	27.00	59.00	57.00	60.50	9.00	1.50	3.50	33.50		D	1994
32	Mamak	Sumbawa	30.00	97.00	93.20	99.50	10.00	2.50	6.30	39.50		C	1992
33	Tiu Kulit	Sumbawa	11.00	59.40	57.00	61.40	8.00	2.00	4.40	24.40		C	1994

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

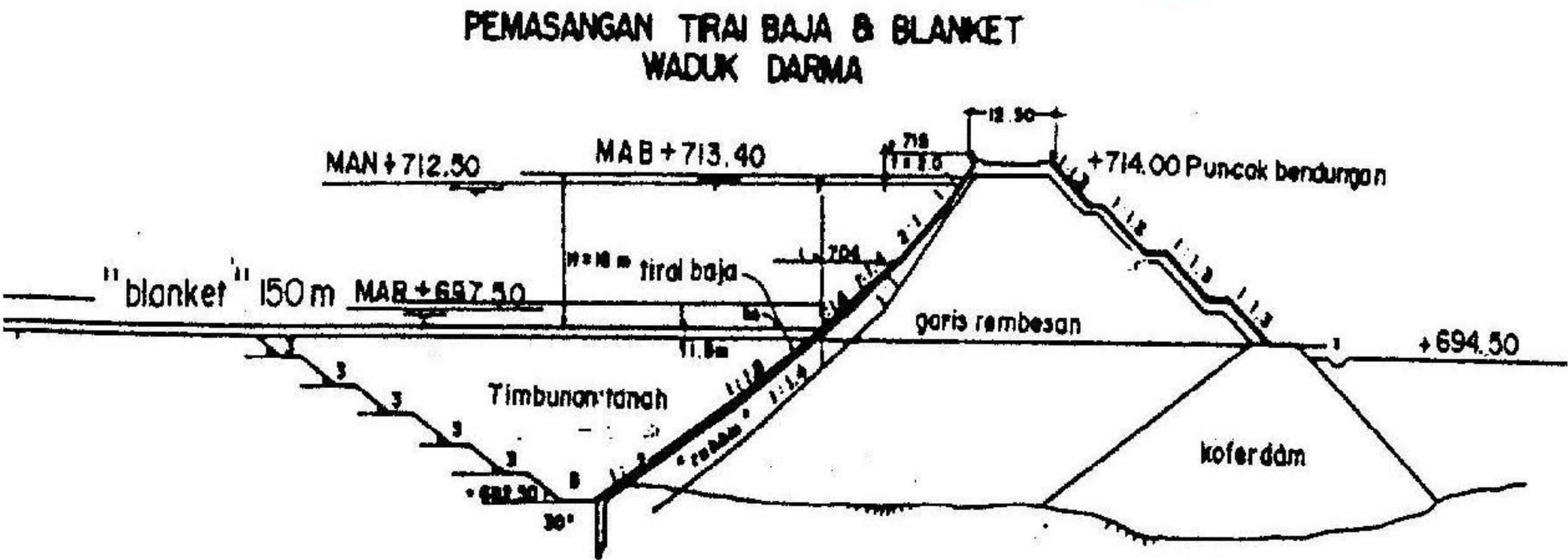


Lampiran C  
(Informatif)

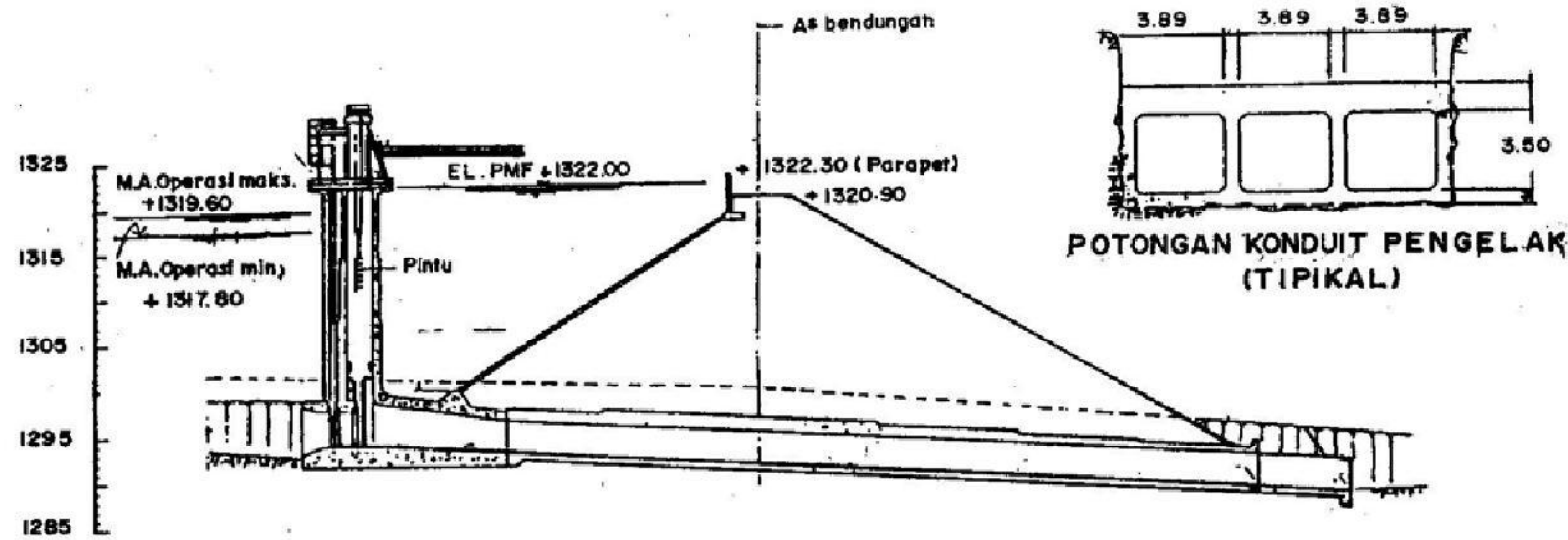
Contoh-contoh bendungan tipe urugan dengan membran



Gambar C.1 - Bendungan Cirata, Jawa Barat



Gambar C.2 - Bendungan Darma, Jawa Barat



Gambar C.3 - Bendungan Larona, Sulawesi



Tabel C.1 - Data bendungan tipe urugan bersekat di Indonesia

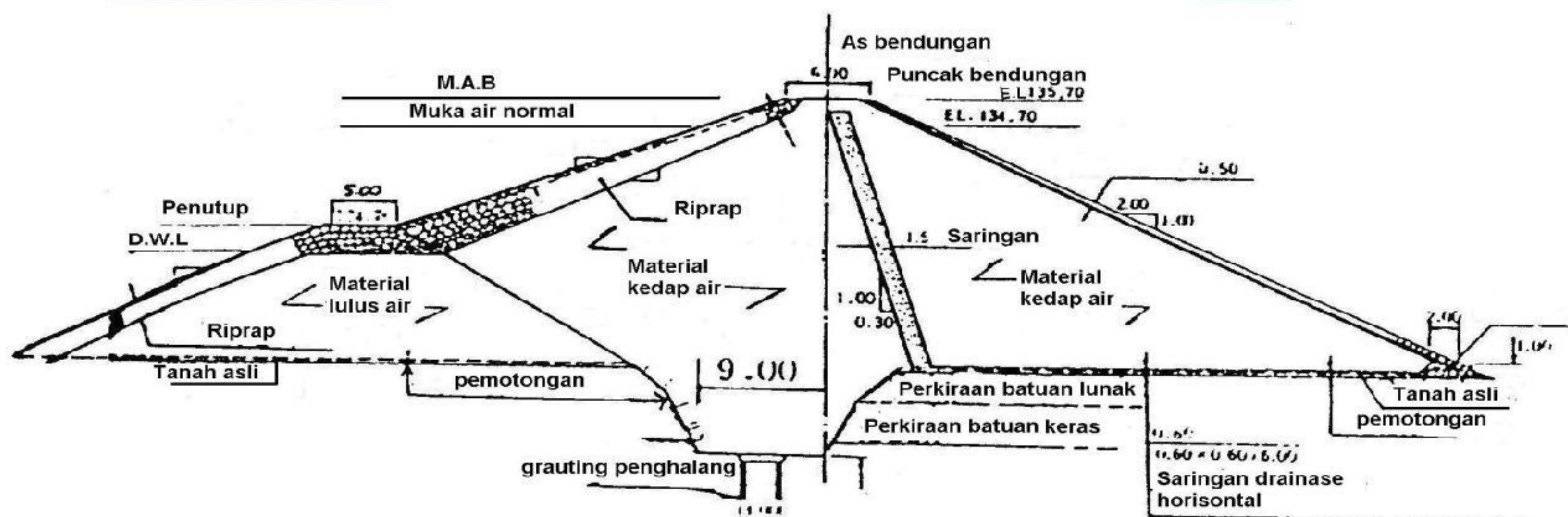
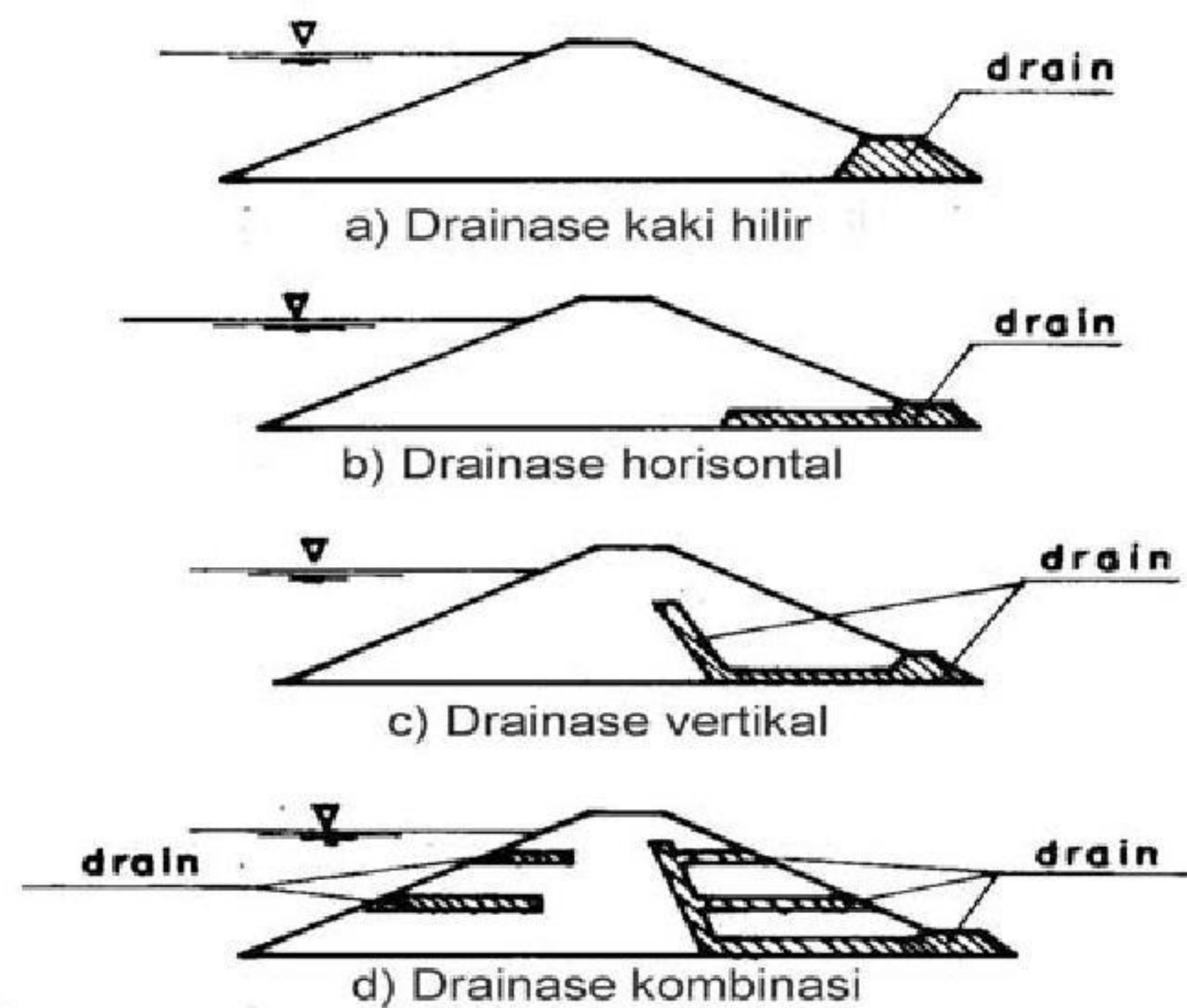
No.	Bendungan	Prop.	Kapasitas Waduk (m <sup>3</sup> )	El.Mab (m)	El.Ma n (m)	El. Puncak (m)	Lebar Puncak (m)	Jagaan Mab (m)	Jagaan Mar n (m)	Tinggi (m)	Jagaan* minimum (m)	Zona**	Selesai (Thn)
1	Ciirata	Jabar	2165	223.00	220.00	225.00	15.00	2.00	5.00	112.00		D	1988
2	Darma	Jabar	37.90	713.40	712.50	714.00	12.50	0.60	1.50	35.50		D	1952
3	Larona	Sulawesi	10.00	1320.00	1319.60	1320.90	6.00	0.90	1.30	30.00		D	1978



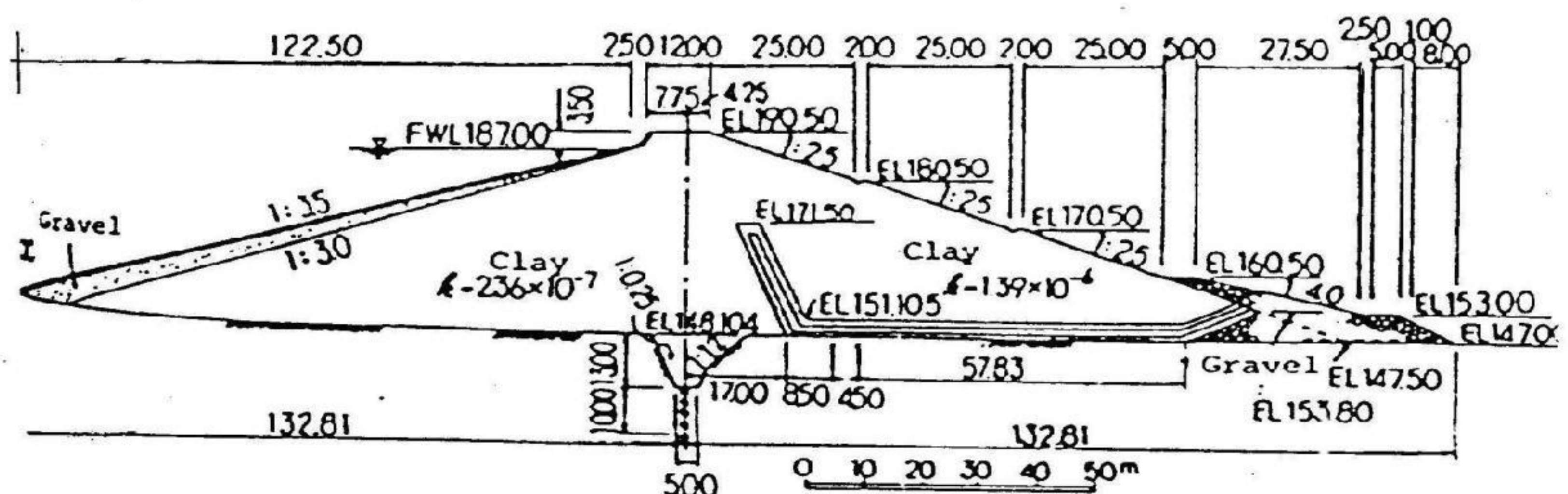


## Lampiran D (Informatif)

**Jenis sistem drainase, galeri drainase bendungan tipe urugan batu dengan membran, contoh-contoh bendungan tipe urugan di luar negeri**

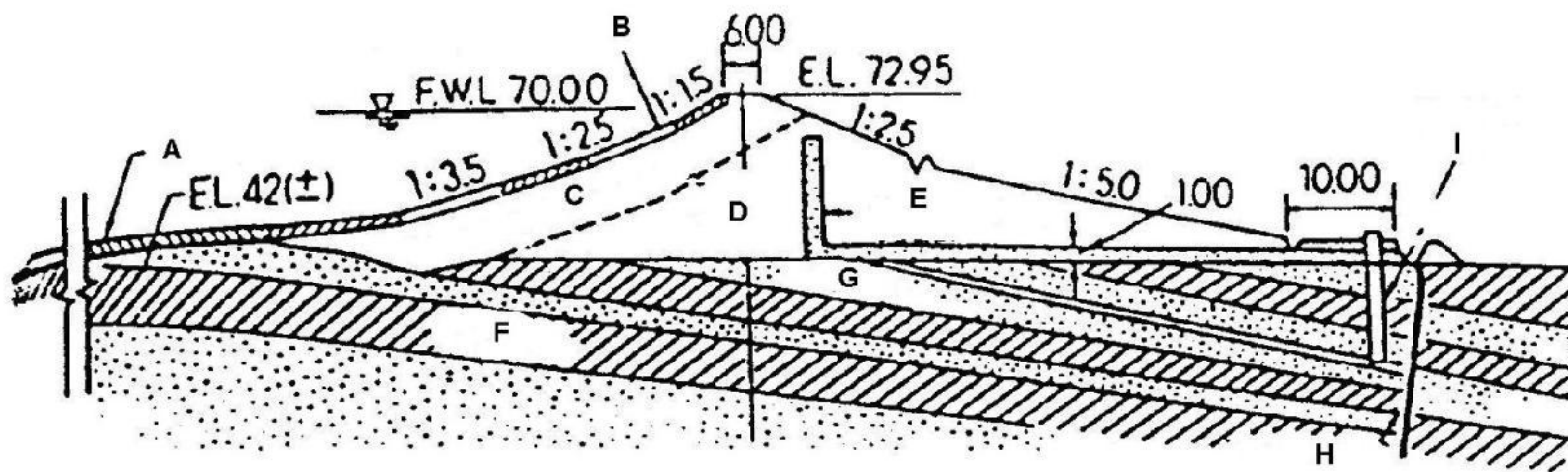


**a) Bendungan Yong-Gae (Korea 1981)**



**b) Bendungan Sang-Ya (Korea 1961)**





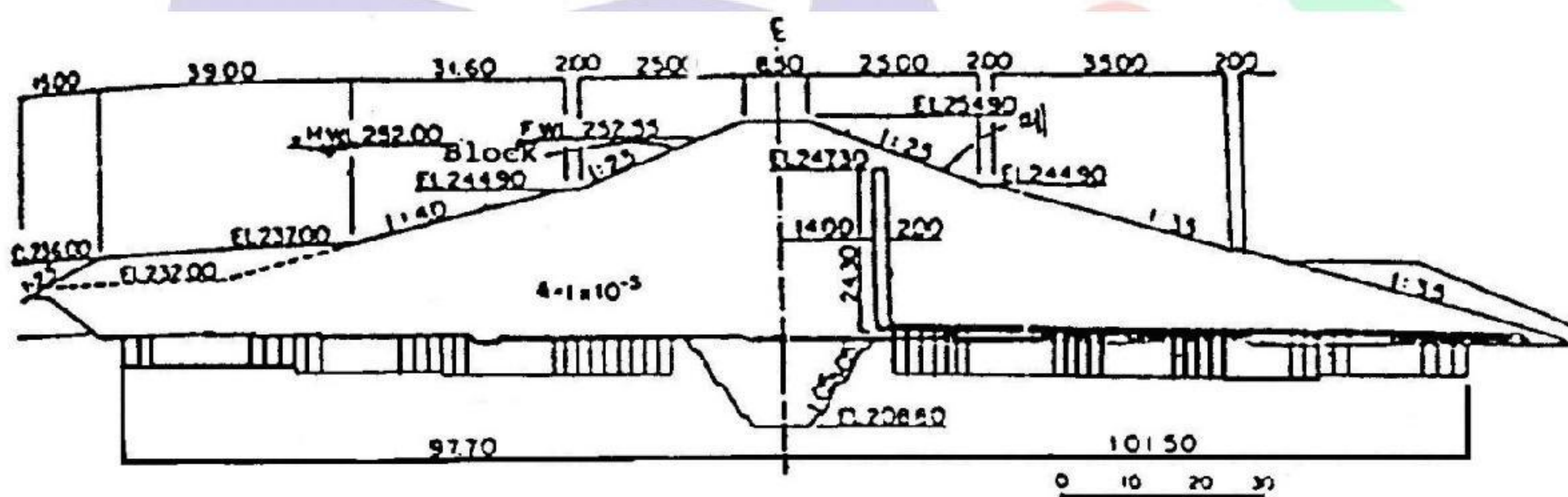
**Gambar D.1 - Jenis sistem drainase bendungan tipe urugan homogin**

Keterangan gambar:

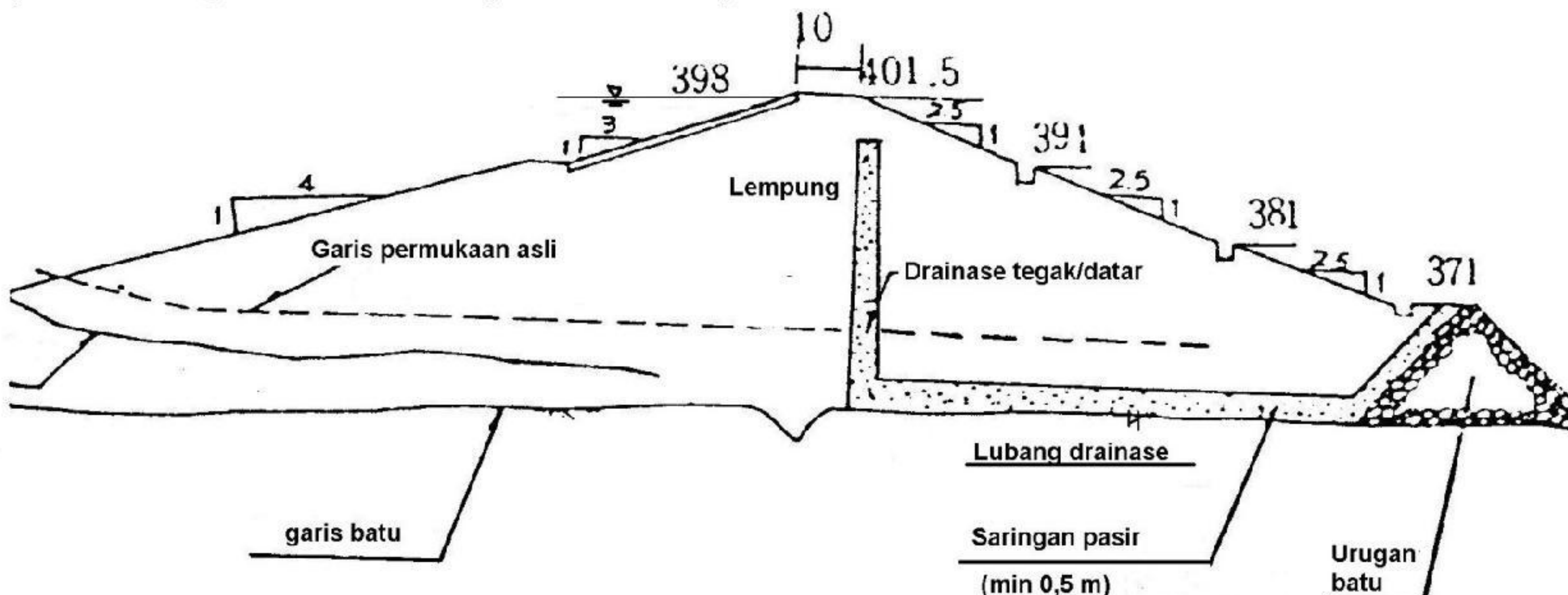
A : Selimut  
B : Lapisan pelindung batu  
C : Lapisan kedap air  
D : Random

E : Drainase tegak/datar  
F : Lempung  
G : Pasir  
H : Perkiraan sesar  
I : Sumur pematics

### 3) Bendungan Dong Hyang (Korea 1961)



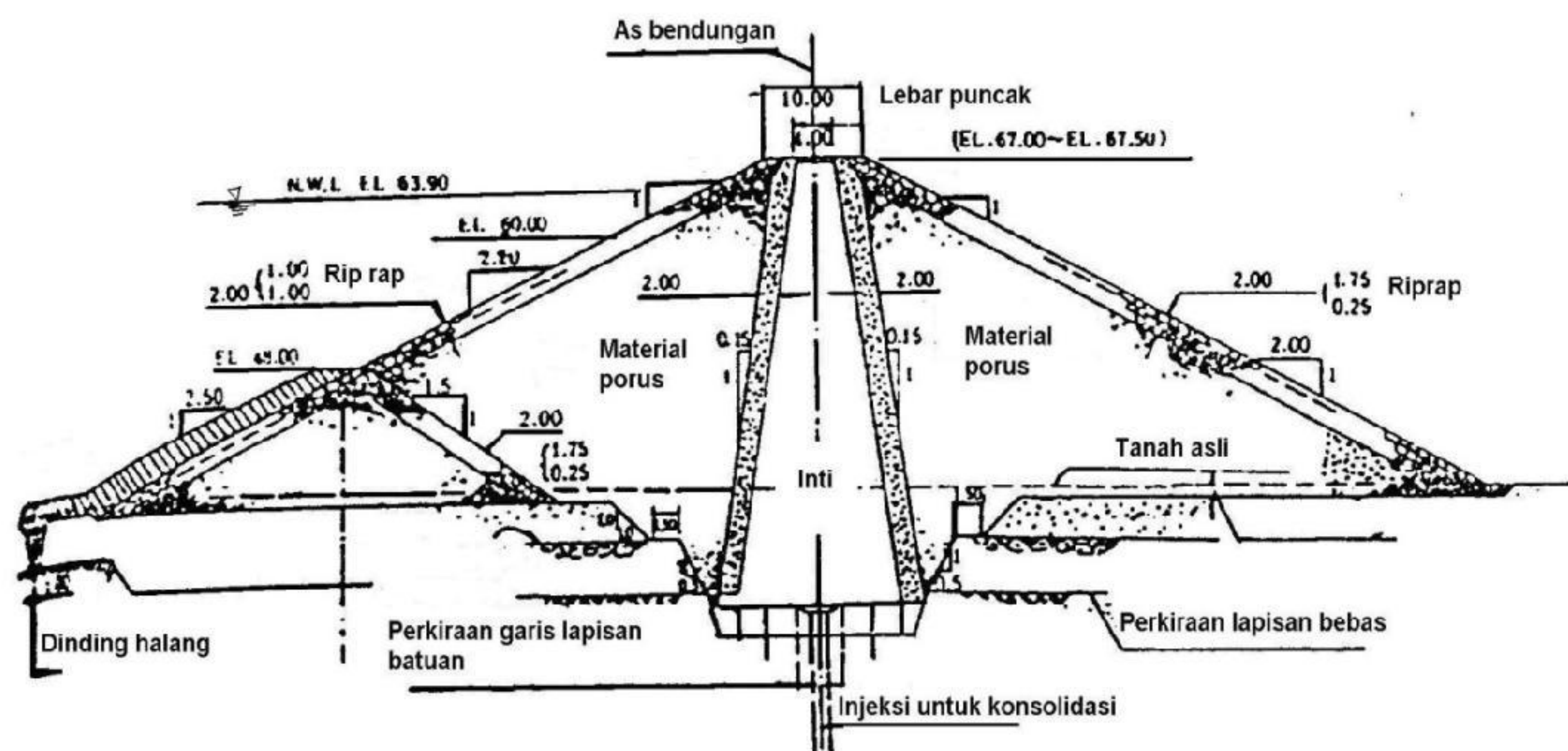
### d) Bendungan Dae Yum (Korea 1969)



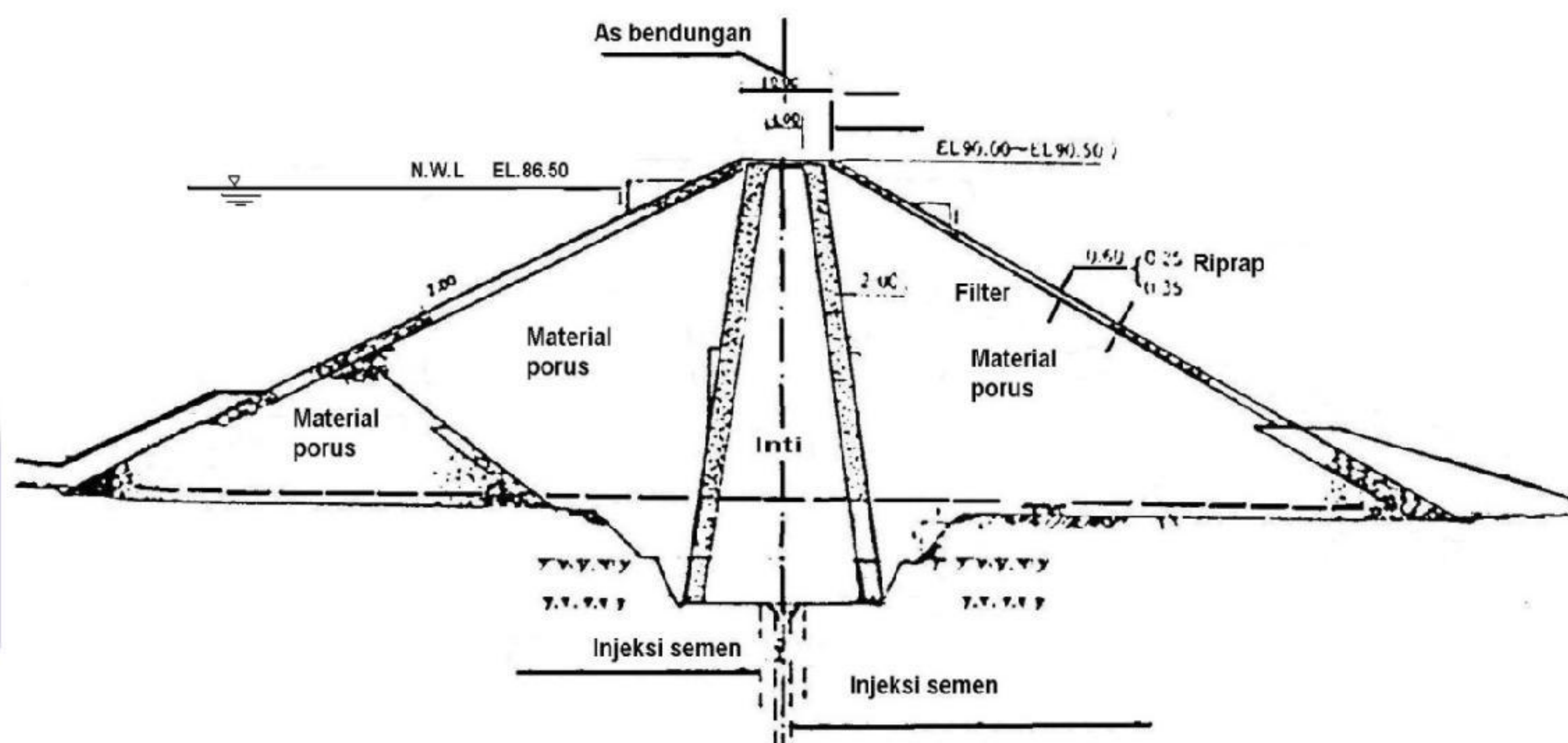
### e) Bendungan Vigano

**Gambar D.2 - Contoh bendungan tipe urugan tanah homogen di luar negeri**

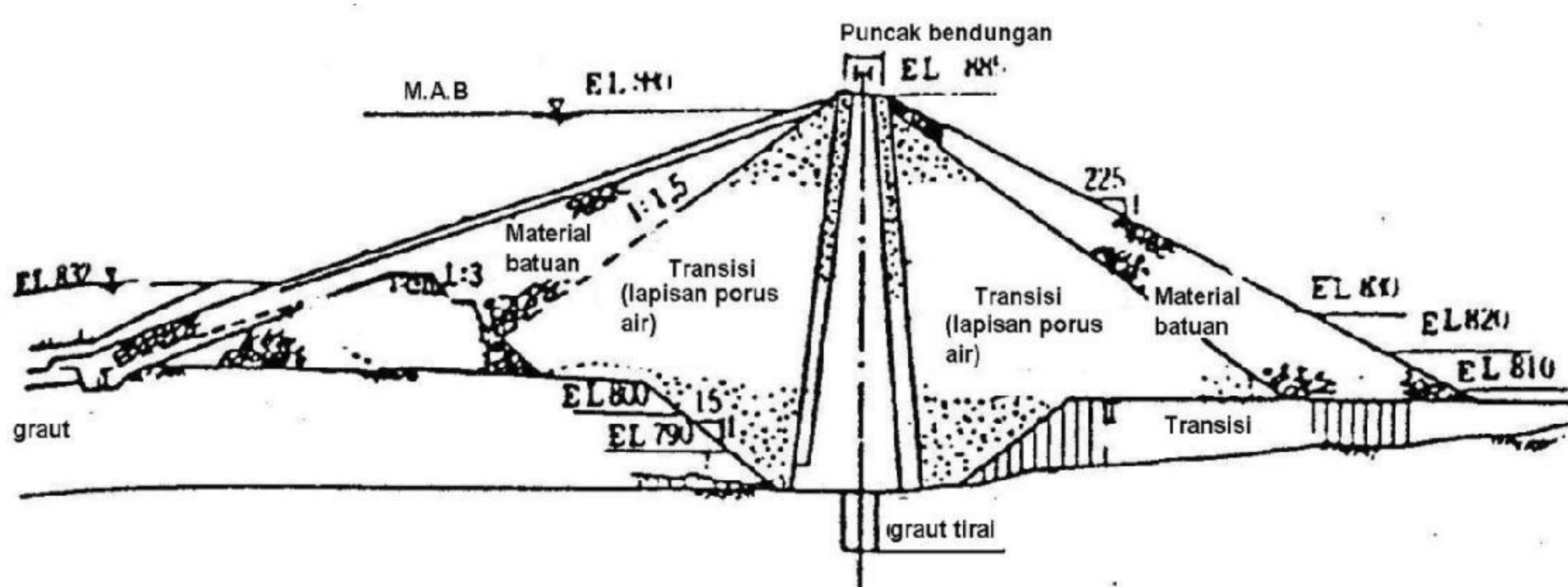




a) Bendungan Na-Yu (Korea 1976)

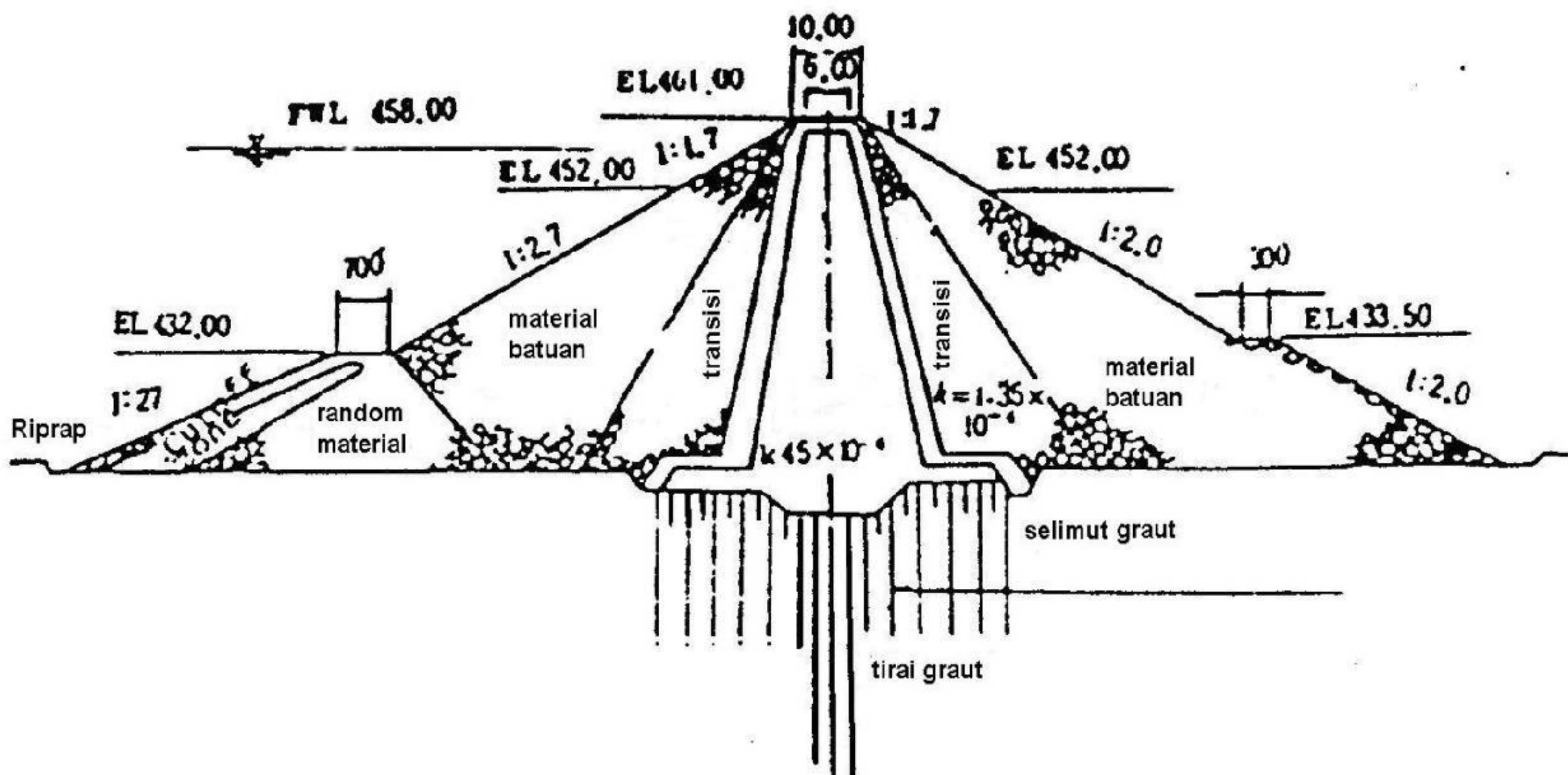


b) Bendungan Yang Seong (Korea 1976)

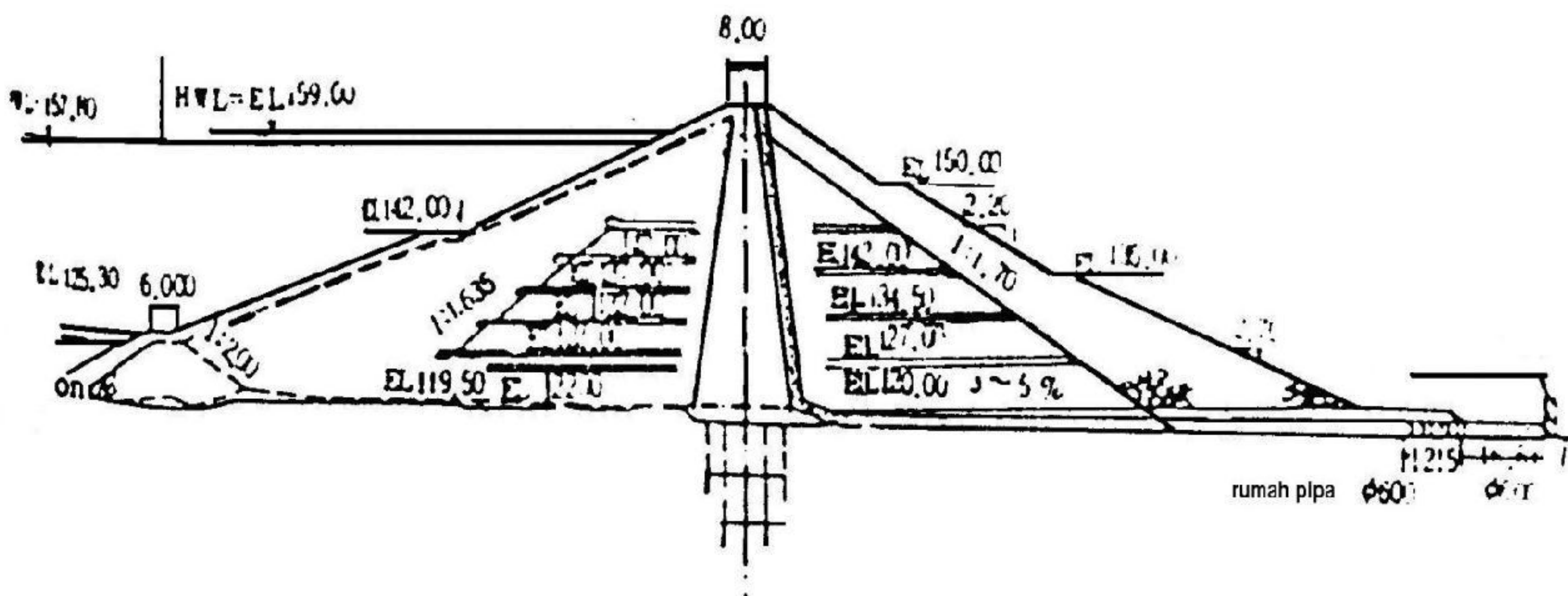


c) Bendungan Bkuo (1961)



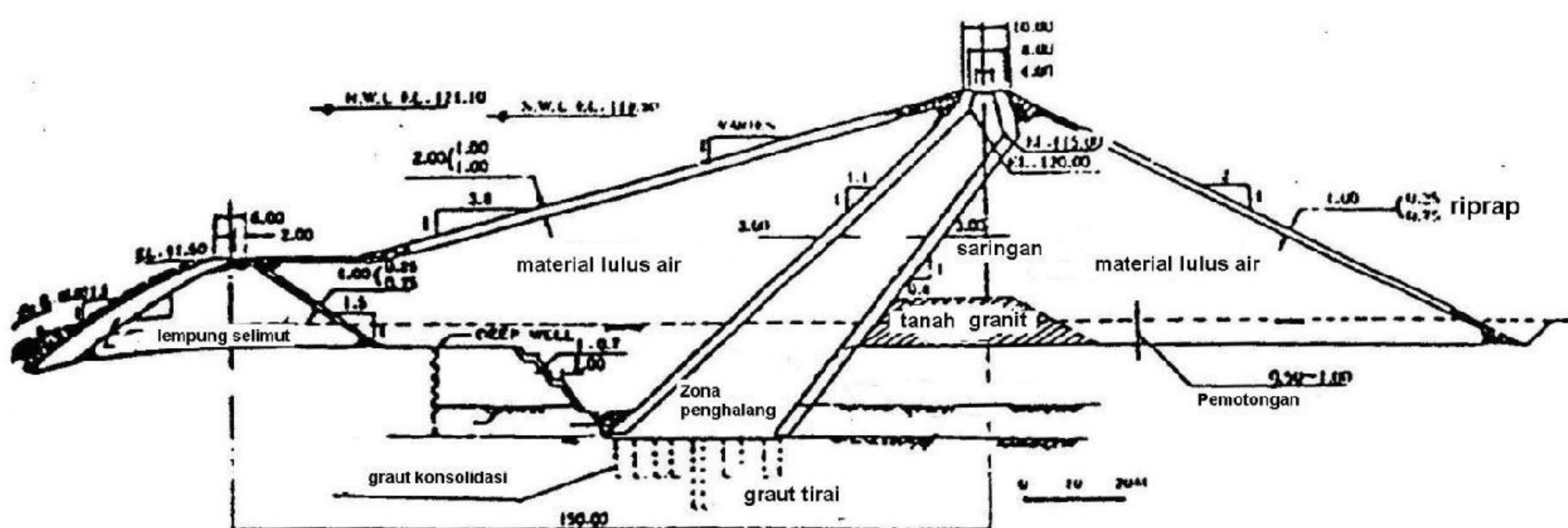


d) Bendungan Hidesei (Jepang 1969)



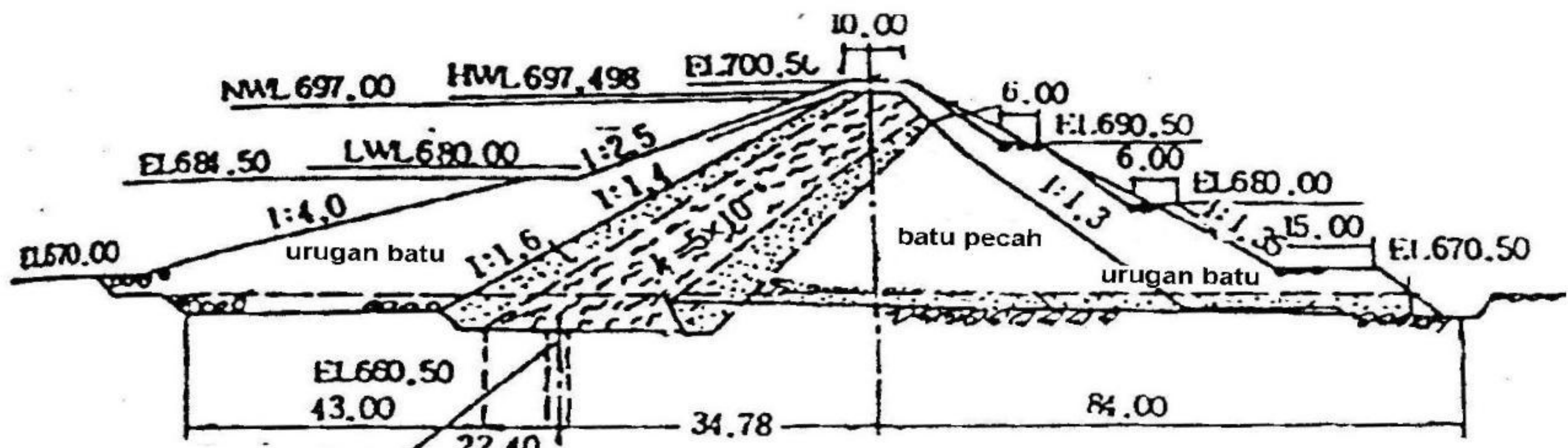
e) Bendungan Rovoka (Jepang)

Gambar D.3 - Contoh bendungan tipe urugan zonal inti tegak di luar negeri

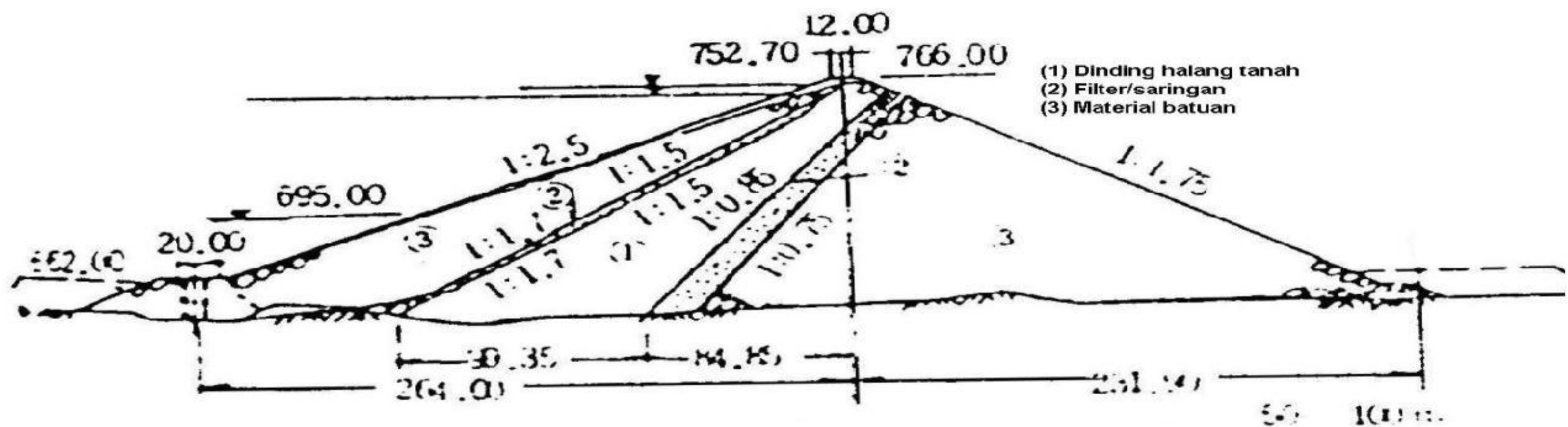


a) Bendungan Damyang (Korea 1976)

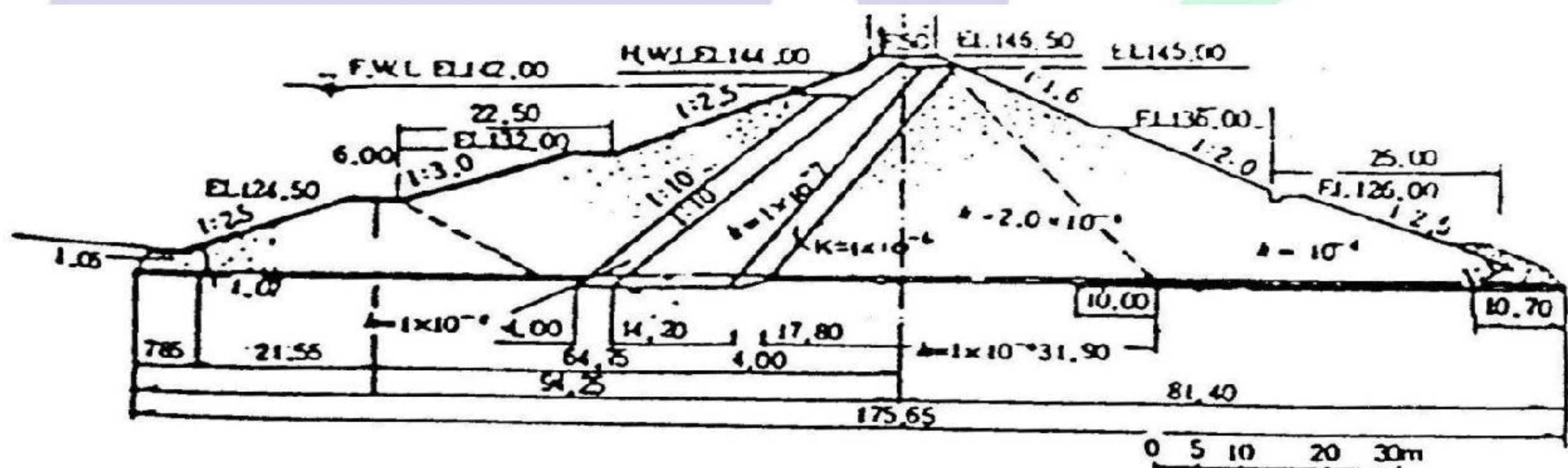




b) Bendungan Iwadow



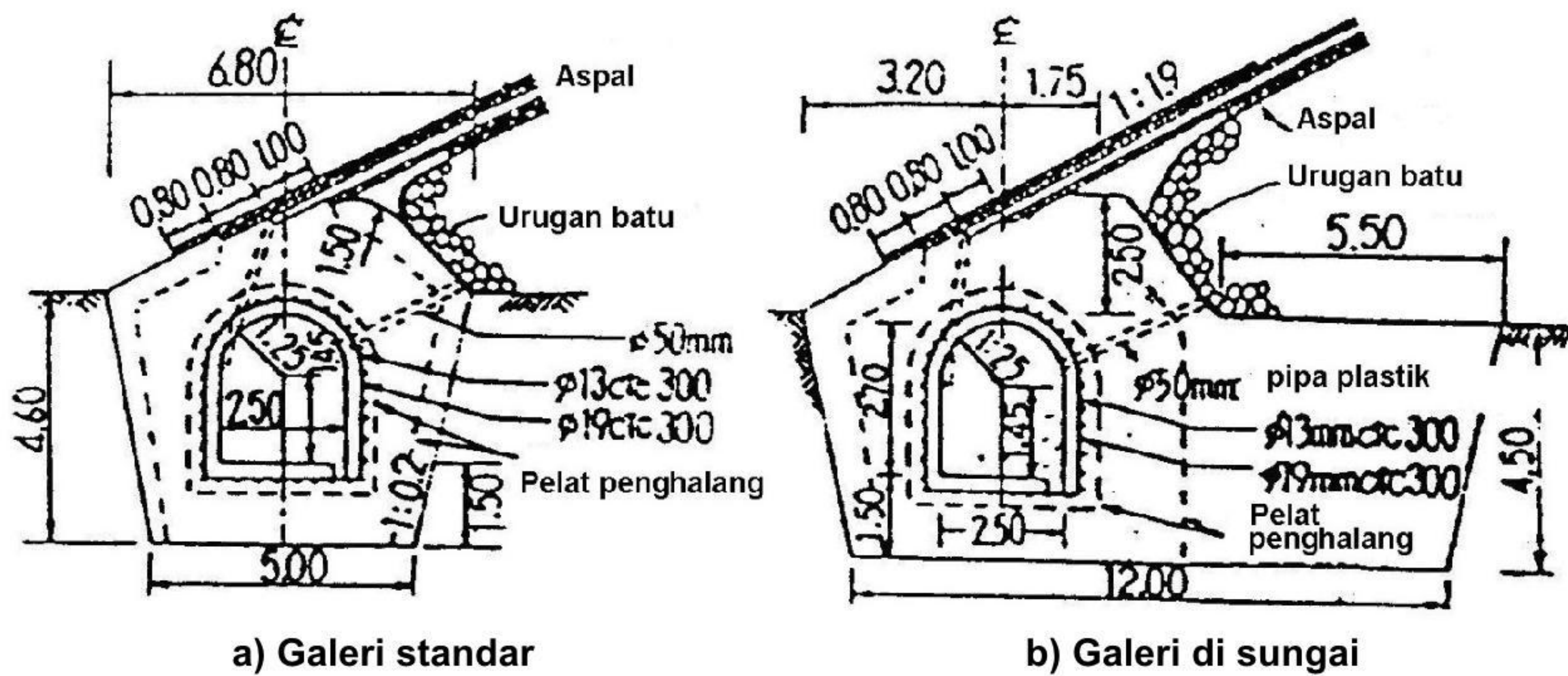
c) Bendungan Kopokoro (Jepang 1960)



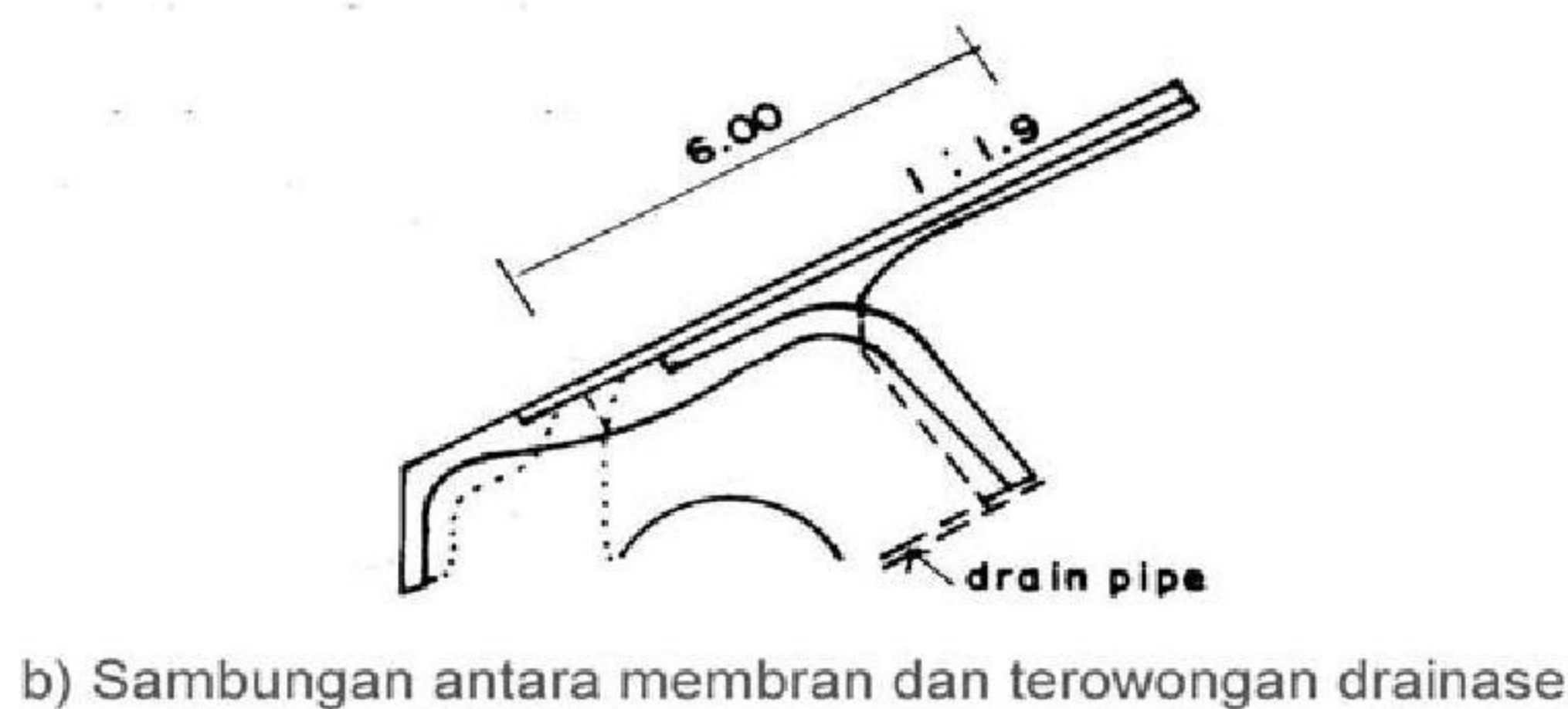
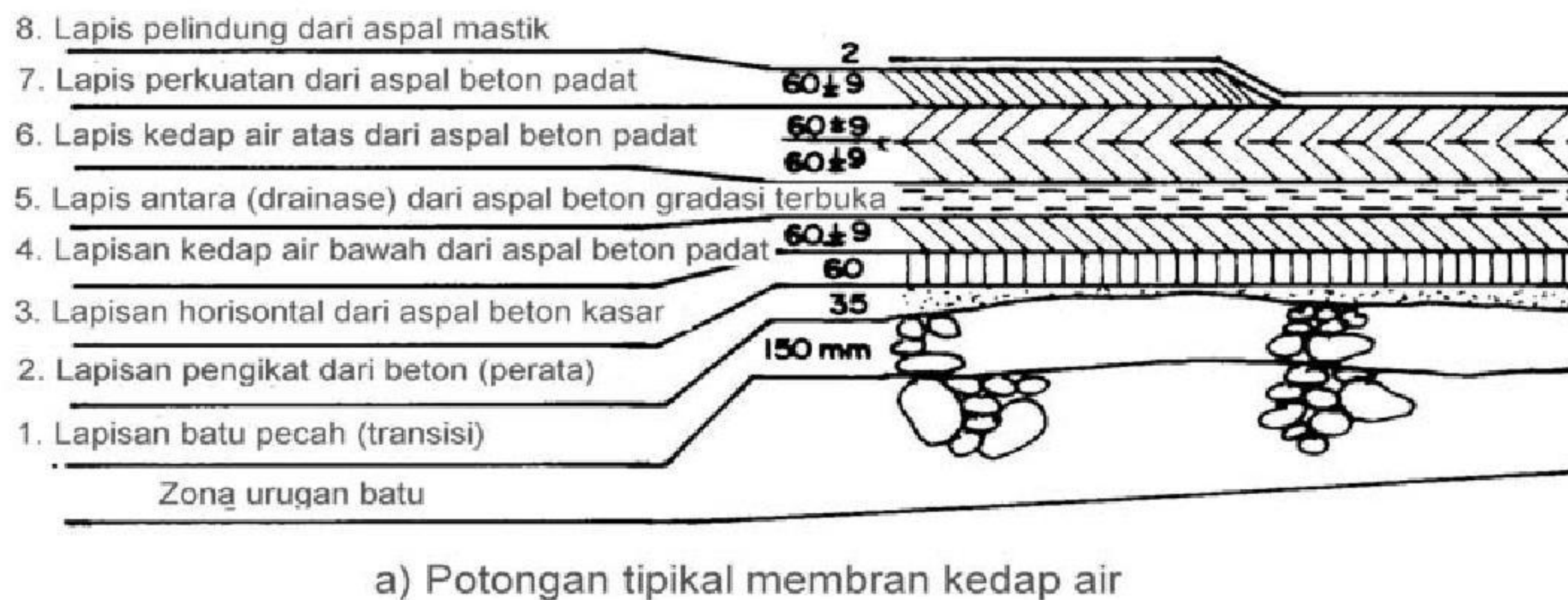
d) Bendungan Adyama (Jepang 1963)

Gambar D.4 - Contoh bendungan tipe urugan zonal inti miring di luar negeri



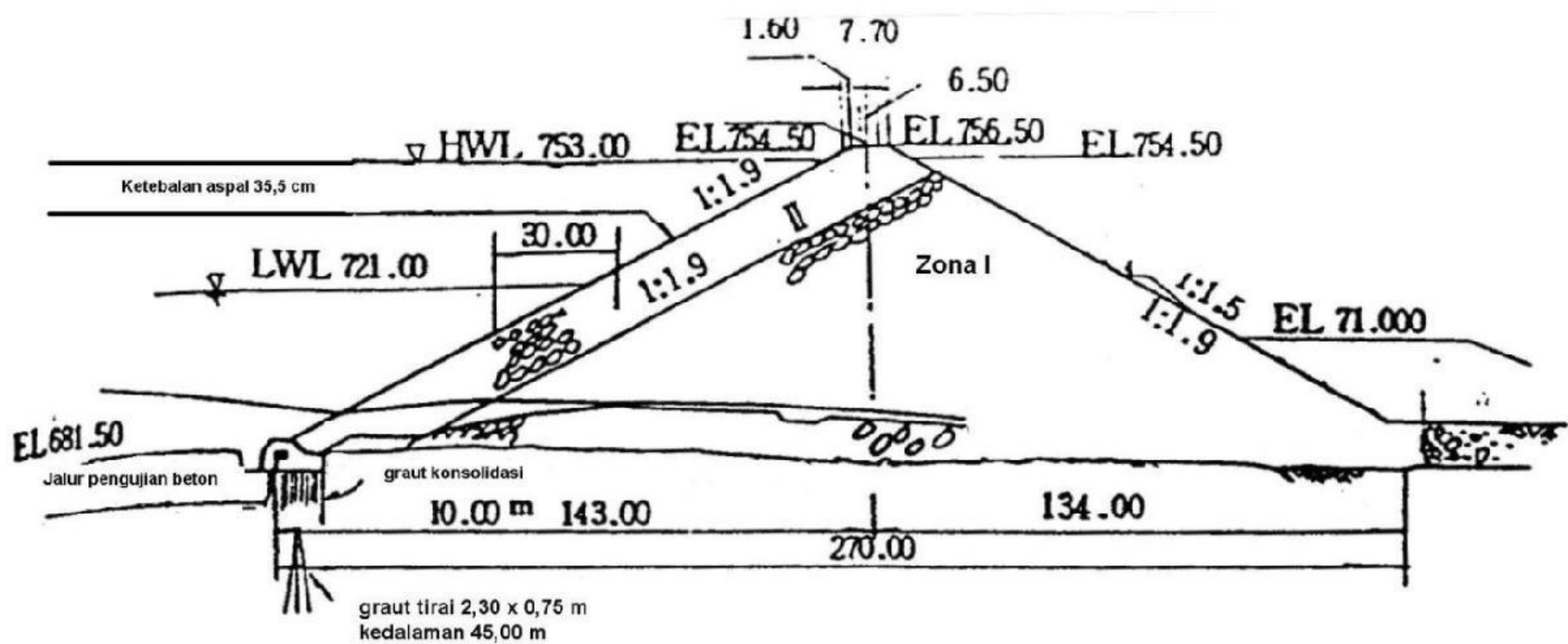


Gambar D.5 - Konstruksi galeri untuk bendungan tipe urugan dengan membrane

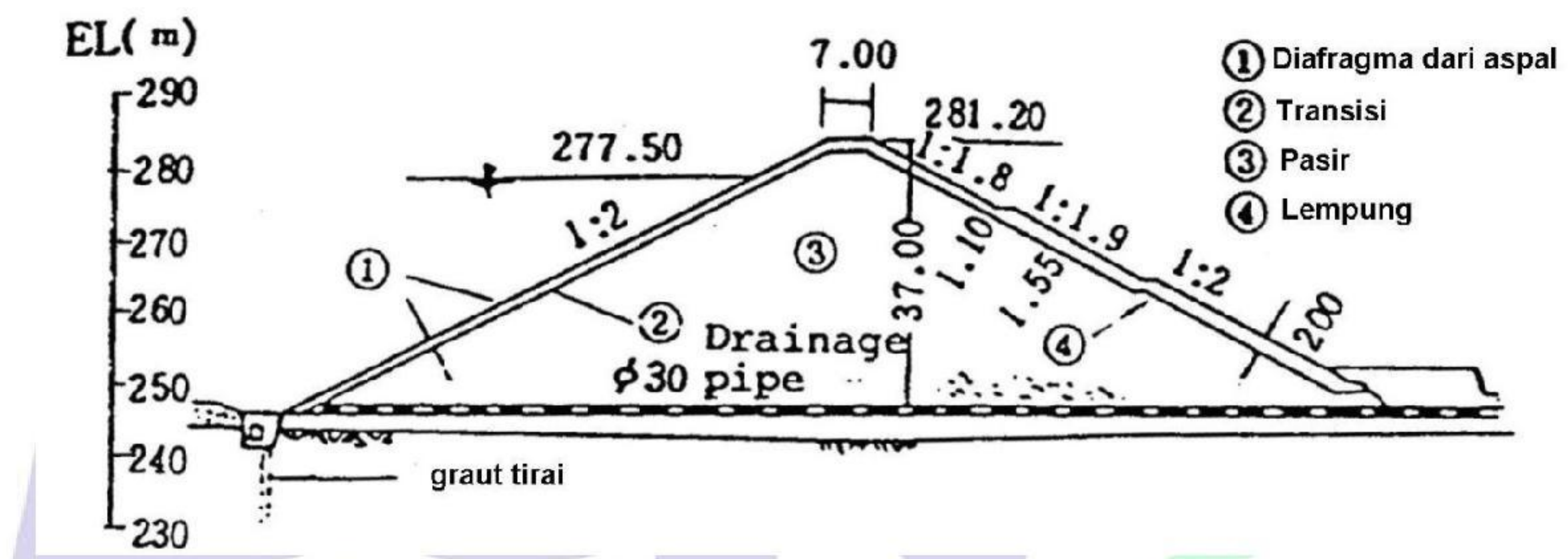


Gambar D.6 - Potongan sekat kedap air aspal beton

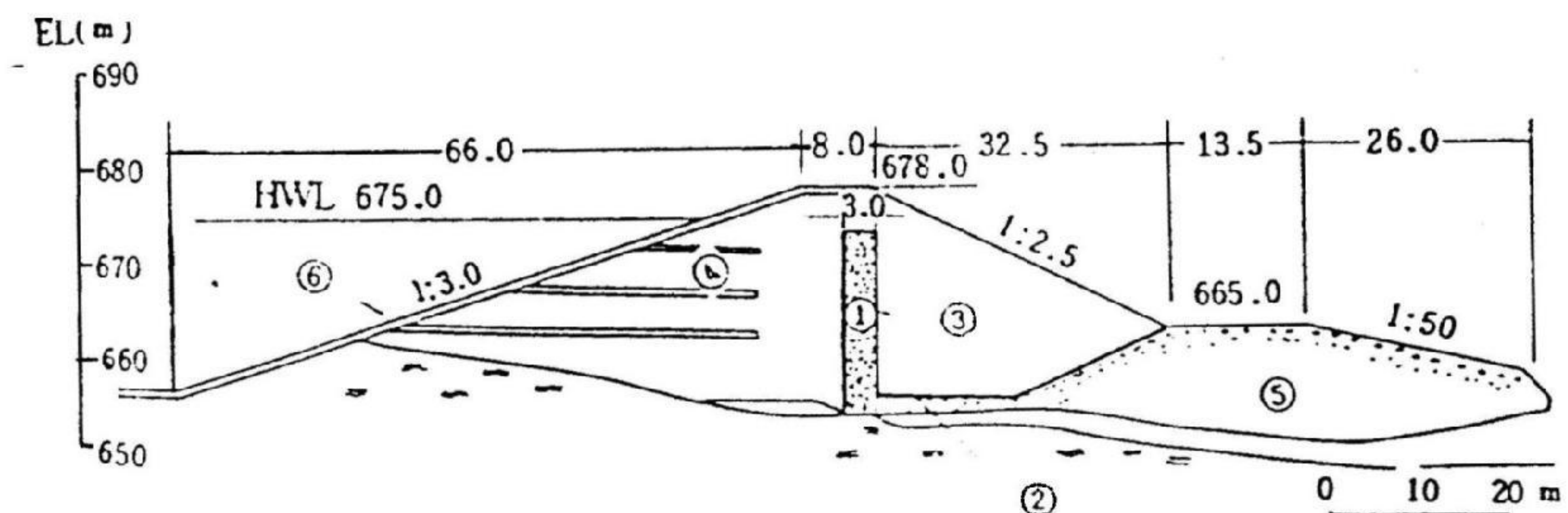




a) Bendungan Hukuyama (1973)



b) Bendungan Nikura



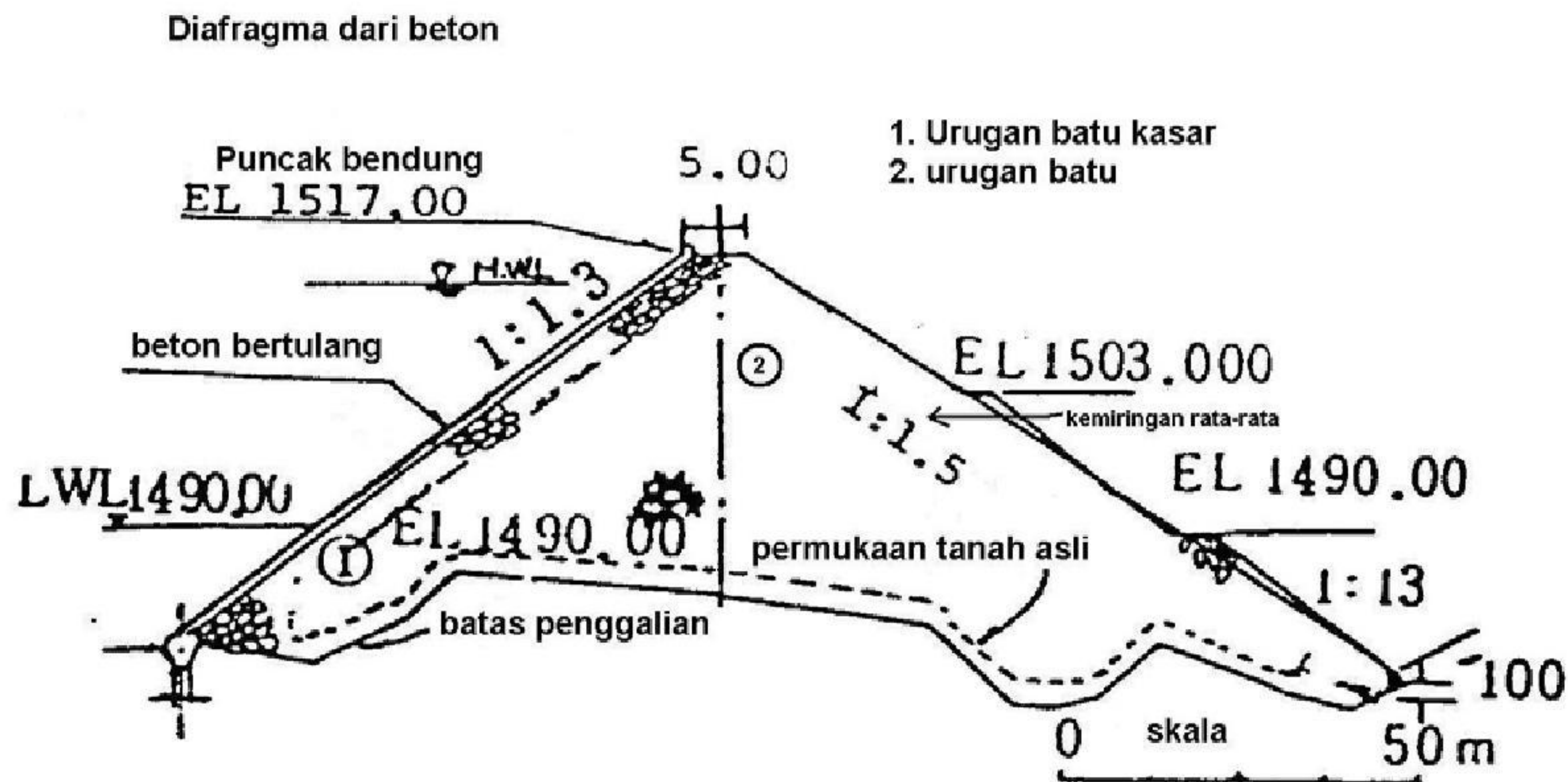
Keterangan gambar:

1. Drainase chimney
2. Drainase horizontal
3. Campuran tanah merah granit dan lempung
4. Drainase pasir
5. Kumpulan pasir

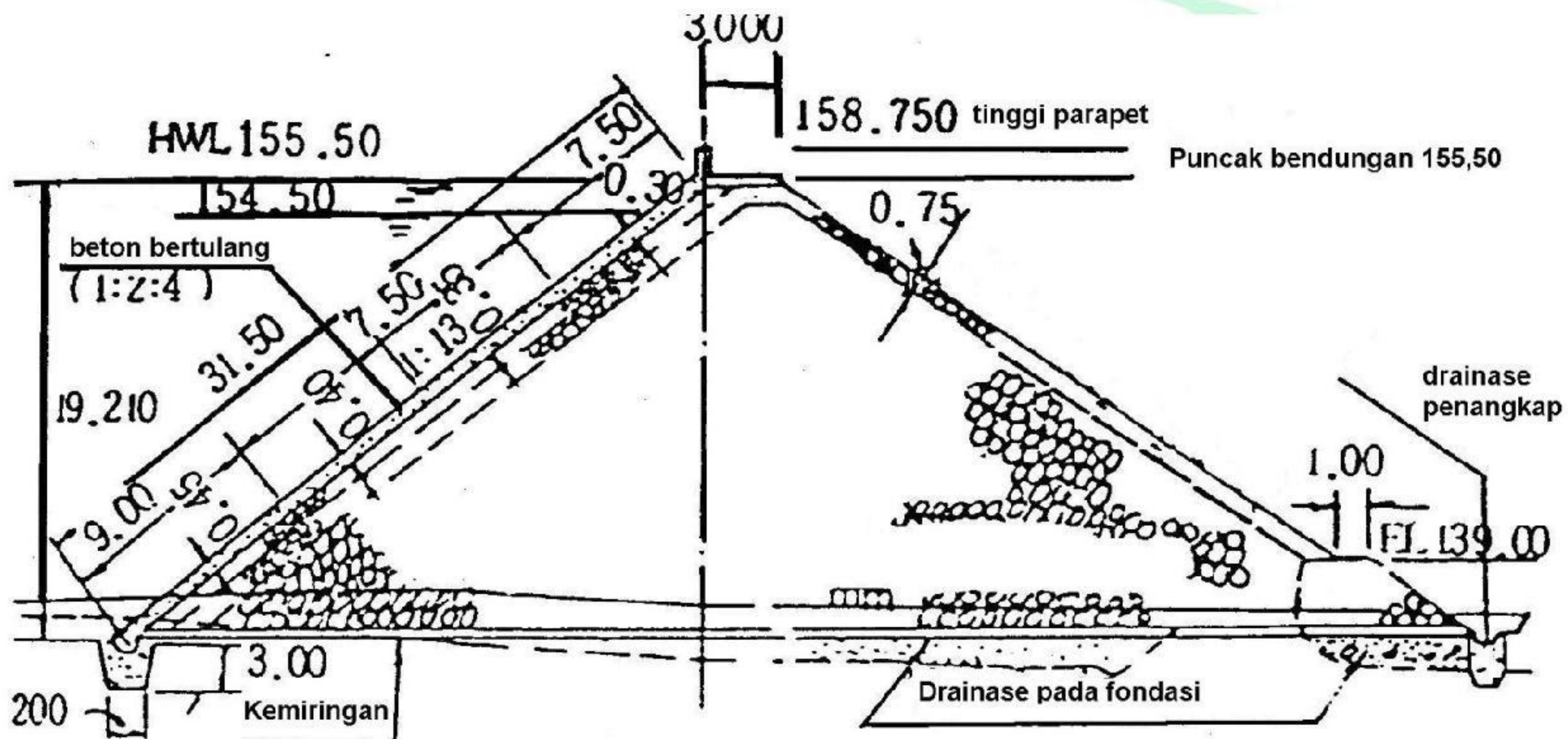
c) Bendungan Hikahusi

Gambar D.7 - Contoh bendungan tipe urugan membran dari aspal beton





a) Bendungan Noyadam



b) Bendungan Zien

Gambar D.8 - Contoh bendungan tipe urugan membrane dari beton



## Bibliografi

- TERZAGHI, K and R.B. PECK (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, second edition, John Wiley and sons, New York NY .
- HIRSCHFELD, R.C. and S.J. POULOS, ed. (1973), "*Embankment Dam Engineering Practice*," Casagrande Volume, John Wiley and sons, New York .
- USBR 1973, *Design Of Small Dams*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- National Academy Press (1983), *Safety of Existing Dams : Evaluation and Improvement*, National Academy Press , Washington DC.
- SHERARD, J.L., R.J. WOODWARD, S.F. GIZIENSKI, and W.A. CLEVINGER (1963), *Earth and Earth-Rock Dams*, John Wiley and Sons, New York NY, 1963.
- USBR (1987), Seepage Analysis and Control, Chapter 8, *Design Standards Embankment Dams* no. 13, U.S. Department of The Interior, Bureau of Reclamation Engineering and Research Center, Denver CO. 1987.
- USBR (1987), Static Stability Analyses, Chapter 4, *Design Standards Embankment Dams* no. 13, U.S. Department of The Interior, Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center, Denver CO. 1987.
- Direktorat Jendral Pengairan & Balitbang PU (1995), *Bendungan Besar Di Indonesia*, Proyek Pembinaan Teknis Pembangunan dan Pengamanan Waduk, Direktorat Jendral Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum ( Juni 1995)
- Sosrodarsono, S dan Takeda K (1977) Editor, *Bendungan Tipe Urugan*, Penerbit Pradnya Paramita Jakarta 1977.
- Jansen, B.R. Editor (1988), *Advanced Dam Engineering*, Van Nostrand Reinhold 115 Fifth Avenue, New York 10003, ISBN 0-442-24397-9 (1988)
- Direktorat Jendral Pengairan (1999/2000), *Pedoman Teknik Penentuan Beban Gempa Pada Bangunan Pengairan*, Proyek Peningkatan Perencanaan Program Dan Rancang Bangun Pembangunan Pengairan, Bagian Proyek Perencanaan Teknik Pengairan, Dirjen Air, Departemen PU, Jalan Pattimura no. 20/7 Kebayoran Baru - Jakarta Selatan.
- Pd T-14-2004-A Pedoman analisis stabilitas bendungan urgan akibat beban gempa, dapat diunduh pada <http://litbang.pu.go.id/>